



VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Svařování příruby děleného kola SCHEUERLE

(9.0-15 HD)

Welding the Flange of the SCHEUERLE Split Wheel

(9.0-15 HD)

Student:

Bc. Štěpán Chrapek

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Martin Sondel, Ph.D.

Ostrava 2017

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Štěpán Chrapek**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 20 Strojírenská technologie
Téma: Svařování příruby děleného kola SCHEUERLE (9.0-15 HD)
Welding the Flange of the SCHEUERLE Split Wheel (9.0-15 HD)
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte studii svařitelnosti příruby děleného kola.
2. Popište technologii výroby děleného kola.
3. Proveďte experimentální práce.
4. Navrhněte a proveďte zkoušky zkušebního kusu.
5. Vyhodnoťte výsledky zkoušek.
6. Definujte závěry a doporučení na základě získaných výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

KOUKAL, Jaroslav; SCHWARZ, Drahomír; HAJDÍK Jiří. *Materiály a jejich svařitelnost*. Vyd. 1. Ostrava: Český svářečský ústav s.r.o., VŠB-Technická Univerzita, 2009. 241 s. ISBN 978-80-248-2025-5.
KOUKAL, Jaroslav; ZMYDLENÝ, Tomáš. *Svařování I*. Vyd. 1. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2005. 136 s. ISBN 80-248-0870-6.

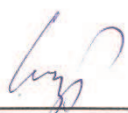
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Sondel, Ph.D.**


Konzultant diplomové práce: Libor Schebestík

Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017


Ing. Lucie Krejčí, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně přílohy vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 15. května 2017

.....
podpis studenta



Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále je. VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložena vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 15. května 2017

Podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Štěpán Chrápek

Adresa trvalého pobytu autora práce: Za Vinicí 394, 267 12 Loděnice, okr. Beroun



ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

CHRAPEK Š. *Svařování příruby děleného kola SCHEUERLE (9.0-15 HD)*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2017, počet stran: 69, Vedoucí práce: Ing. Sondel Martin, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá výrobou děleného kola SCHEUERLE (9.0-15 HD), respektive svařováním příruby a porovnáním dvou technologických postupů svařování příruby a ráfku. V úvodu je popsána svařitelnost konstrukčních ocelí, ze kterých se kolo vyrábí. Druhý bod se zabývá technologií výroby kola a popisu svařovacích technologií. Experimentální část se pak zabývá metodikou řešení, jako je kontrola makro a mikrostruktury, vizuální kontrola a měření mikrotvrdosti určených vzorků. Cílem diplomové práce je porovnat dva technologické postupy svařování příruby a ráfku, vyhodnotit makro a mikro strukturu vzorků a jejich tvrdost při zatížení HV 0,1. Dále pak navrhnout opatření, které by pomohly eliminovat výskyt vad ve svaru.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

CHRAPEK Š. *Welding the Flange of the SCHEUERLE Split Wheel (9.0-15 HD)*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, 2017, number of pages: 69, Thesis head: Ing. Sondel Martin, Ph.D.

This master thesis deals with production of SCHEUERLE split wheel (9.0-15 HD), welding of flange and comparison of two flange and rim welding technologies. The introduction describes the weldability of the structural steels from which the wheel is made. The second point deals with the technology of wheel production and the description of welding technologies. The experimental part deals with the methodology of the solution, such as macro and microstructure control, visual inspection and measurement of the micro hardness of the determined samples. The aim of this diploma thesis is to compare two technological processes of welding of flange and rim, to evaluate macro and micro structure of samples and their hardness under load HV 0,1. Next, propose measures to help eliminate the occurrence of defects in welding.



Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	8
1. Úvod	9
1.1 Studie svařitelnosti příruby děleného kola	10
1.1.1 Svařitelnost konstrukčních ocelí	10
1.1.2 Vliv chemického složení ocelí na jejich svařitelnost.....	12
1.1.3 Uhlíkový ekvivalent	13
2. Technologie výroby děleného kola	14
2.1 Výroba disku.....	14
2.2 Výroba vnitřní části ráfku	17
2.3 Montáž disku a vnitřní části ráfku (vnitřní ráfek).....	22
2.4 Svařování příruby a vnitřního ráfku	26
2.5 Dokončovací práce na vyšší části ráfku	26
2.6 Výroba vnější části ráfku	27
2.7 Svařování vnější části ráfku a příruby.....	28
2.8 Svařovací technologie	32
Svařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou – metoda 135 (MAG).....	32
Svařování pod tavidlem – metoda 121 (SAW)	38
2.9 Systém zařazování ocelí do skupin dle TNI CEN ISO/TR 15608.....	42
3. Experimentální část.....	43
3.1 Svařovací parametry	44
Výpočet tepla vneseného do svaru	44
3.2 Metodika řešení	45
3.3 Vizuální kontrola dle ČSN EN ISO 5817	45
3.4 Makrostruktura vzorků	46
3.4.1 Vzorek č. 1	46
3.4.2 Vzorek č. 2	47
3.4.3 Vzorek č. 3	48
3.4.4 Vyhodnocení vzorku č. 1 a č. 3.....	49
3.5 Mikrostruktura vzorků	50
3.5.1 Vzorek č. 1	50
3.5.2 Vzorek č. 3	53
3.6 Mikrotvrdost vzorků.....	56
4. Zhodnocení výsledků.....	61



5. Závěr.....	62
Poděkování.....	64
Seznam použité literatury.....	65
Seznam použitých obrázků a tabulek.....	66
Seznam příloh.....	69

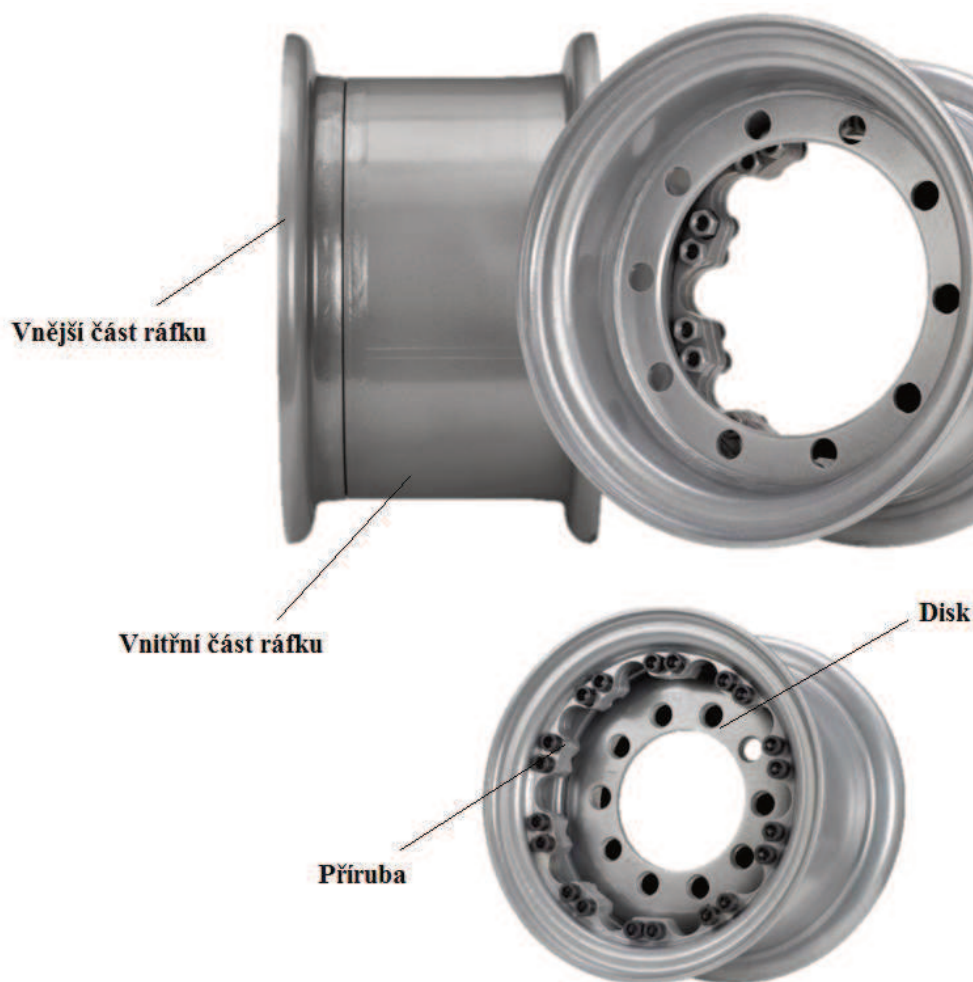


Seznam použitých značek a symbolů

Symbol	Význam	Jednotky
C _e	Uhlíkový ekvivalent	[%]
ČSN	Česká technická norma	-
ČSN EN	Česká verze evropské normy	-
HV10	Tvrdost podle Vickerse při zatížení 10 kg	-
HV0,1	Tvrdost podle Vickerse při zatížení 100g	-
ISO	International Organization for Standardization	-
Re	Mez kluzu	[MPa]
A	Tažnost	[mm]
S ₀	Počáteční plocha příčného řezu zkušební tyče	[mm ²]
R _m	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
TOO	Tepelně ovlivněná oblast	-
IIW	International Institute of Welding	-
s	Tloušťka svaru	[mm]
CNC	Computer Numeric Control	-
MAG	Metal Active Gas	-
MMAW	Manual Metal Arc Welding	-
SAW	Submerged Arc Welding	-
TNI	Technická normalizační informace	-
CEN	Evropský výbor pro normalizaci	-
EWT	Evropský svářečský technolog	-
EWS	Evropský svářečský specialista	-

1. Úvod

Diplomová práce se bude zabývat výrobou děleného kola SCHEUERLE, respektive svařováním dílů, ze kterých se kolo skládá. V některých svarech vznikají vady, které budou identifikovány. Na závěr budou navržena vhodná řešení, pro eliminaci těchto vad. Kolo vyrábí firma Maxion Wheels s.r.o. v Ostravě - Kunčicích. Kolo slouží pro podvalníky, které převážejí velmi těžké strojní dílce, letadla, tanky atd. Kolo jako celek se skládá ze dvou svařenců, které jsou k sobě sešroubovány. Celkem se skládá z 5 dílů a je zobrazeno na obrázku č. 1. Ráfky jsou z konstrukční oceli S275J2, příruba a disk pak z konstrukční oceli S355J2.



Obr. 1 – Dělené kolo SCHEUERLE (9.0-15 HD)



1.1 Studie svařitelnosti příruby děleného kola

Kolo se skládá ze dvou částí, respektive svařenců, tzv. vyšší a nižší část. Vyšší část se skládá z ráfku, disku a příruby. Nižší část se skládá z ráfku a příruby. Přehled vlastností použitých ocelí je zobrazen v tabulce 1.

Tabulka 1 – Přehled vlastností použitých ocelí[2,3]

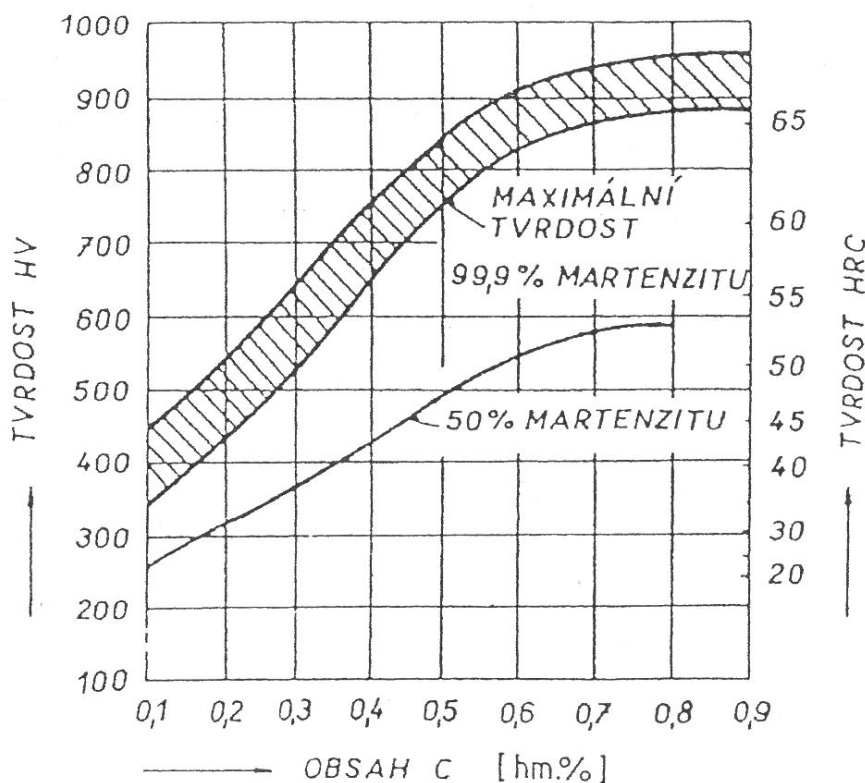
Přehled vlastností oceli S355J2 dle ČSN EN 10025-2						
Druh oceli	Nelegovaná jakostní konstrukční ocel					
Chemické složení v % hmotnosti	C	Mn	Si	P	S	N
	0,18	1,6	0,55	0,025	0,025	0
Re _{min} - Minimální mez kluzu [MPa]	355					
Rm - Pevnost v tahu [MPa]	470 - 630					
Minimální tažnost v % ($A = 5,6 \cdot 5 \cdot \sqrt{S_0}$) pro materiál do tloušťky 16 mm					22	
Maximální hodnota C _E (uhlíkový ekvivalent)		0,45				
Přehled vlastností oceli S275J2dle ČSN EN 10025-2						
Druh oceli	Nelegovaná jakostní konstrukční ocel					
Chemické složení v % hmotnosti	C	Mn	Si	P	S	N
	0,18	1,5	0	0,025	0,025	0
Re _{min} - Minimální Mez kluzu [MPa]	275					
Rm - Maximální pevnost v tahu [MPa]	430-580					
Minimální tažnost v % ($A = 5,6 \cdot 5 \cdot \sqrt{S_0}$) pro materiál do tloušťky 16 mm					21	
Maximální hodnota C _E (uhlíkový ekvivalent)		0,45				

1.1.1 Svařitelnost konstrukčních ocelí

Konstrukční oceli byly v původních ČSN normách zařazeny do třídy 11. Podle aktuální normy ČSN EN 10027-1 je konstrukční ocel řazena do skupiny 1 a značena dle způsobu použití, mechanických a fyzikálních vlastností symbolem S. Na svařitelnost konstrukčních ocelí, má vliv nejen obsah uhlíku. Se zvyšujícím se obsahem uhlíku roste mez pevnosti, mez kluzu a tvrdost. Snižují se ale plastické vlastnosti. S narůstajícím obsahem uhlíku se zvyšuje náchylnost k zakalení při svařování a tvrdost oceli. Zároveň se zvyšuje náchylnost na vznik studených trhlin, hlavně v tepelně ovlivněné oblasti svarového spoje.

Závislost procenta martenzitu a tvrdosti ve struktuře TOO (tepelně ovlivněné oblasti) svarového spoje na obsahu uhlíku v oceli ukazuje obrázek č. 2. Pomocí této závislosti byla stanovena maximální hodnota přípustné tvrdosti v TOO svarového spoje

na 350 HV, odpovídá totiž obsahu uhlíku v oceli 0,25% a 50% obsahu martenzitu ve struktuře. [1]



Obr. 2 – Závislost tvrdosti svarového spoje na obsah uhlíku v oceli a na procentu martenzitu ve struktuře TOO[1]

Obsah uhlíku je omezován maximální hodnotou $C \leq 0,25\%$. U ocelí splňujících tuto podmínku nemusíme obvykle svarové spoje předehřívát. Materiály International Institute of Welding (IIW) například doporučují nepřehřívát svarové spoje uhlíkových ocelí s mezí pevností (R_m) do 700 MPa, při splnění následujících kritérií. Tabulka 2 uvádí závislost tloušťky svaru na obsahu uhlíku, respektive uhlíkovém ekvivalentu.

Tabulka 2 – Přehled mezních tlouštěk a uhlíkových ekvivalentů uhlíkových ocelí podle IIW [1]

tloušťka svaru s [mm]	obsah C [%]	$C_{E IIW}$
$s \leq 25$	$C \leq 0,22$	$C_{E IIW} \leq 0,45$
$s \leq 37$	$C \leq 0,22$	$C_{E IIW} \leq 0,41$

Potřebnou výšku teploty předehřevu pro zamezení vzniku studených trhlin ovlivňují kromě chemického složení oceli také vliv difuzního vodíku a tuhost konstrukce.



Dohřev svarů není u svarů malých tlouštěk a malého obsahu difuzního vodku nutný. Teplota interpass se u takovýchto svarů nepředepisuje.[1]

1.1.2 Vliv chemického složení ocelí na jejich svařitelnost

Uhlík

Uhlík, který je přítomen ve všech ocelích ovlivňuje rozhodujícím způsobem jejich svařitelnost, především mechanické vlastnosti ocelí. S narůstajícím obsahem uhlíku narůstají hodnoty R_m , R_e a HV , plastické vlastnosti se však zmenšují. S rostoucím obsahem uhlíku roste i hodnota tvrdosti martenzitu, který vzniká ve svarech při velmi rychlém ochlazení.

Mangan

Mangan zvyšuje mez kluzu i mez pevnosti, aniž by snižoval plasticitu oceli. Díky tomu je možné dosáhnout ve svařitelných uhlíkových ocelích vyšší meze kluzu a meze pevnosti. Nelegované uhlíkové oceli většinou obsahují 0,3 až 1,7 hm % manganu, který působí jako desoxidační prvek a společně s křemíkem se používají k výrobě uklidněných ocelí. Pomocí manganu se dá snížit obsah síry v oceli nebo ve svarovém kovu. Síra se váže na mangan za tvorby MnS

Křemík

V nelegovaných uhlíkových ocelích zvyšuje pevnost feritu. Působí silně desoxidačně. Nedostatek křemíku (pod 0,1hm % Si) vede k tomu, že je ocel neuklidněná. Horní hranice je omezena hodnotou 0,45hm % Si.

Fosfor

Zvyšuje mez kluzu i mez pevnosti a zvyšuje odolnost proti atmosférické korozi především ve spojení s mědí. Jeho přítomnost snižuje plasticitu oceli a způsobuje zkřehnutí za studena. Způsobuje zkřehnutí tuhého roztoku α .

Síra

Občas je přidávána úmyslně do nelegovaných konstrukčních ocelí kvůli zlepšení obrobiteľnosti. Při vysokém obsahu síry v oceli může u svařování docházet k porušení materiálu, tento jev je nazýván náchylností na vznik teplých likvačních trhlin. Vysoký obsah síry je jednou z hlavních příčin vzniku lamelárních trhlin. [1]



1.1.3 Uhlíkový ekvivalent

Vliv chemického složení na její svařitelnost se nejčastěji vyjadřuje ekvivalentem uhlíku C_E , který vyjadřuje příspěvek jednotlivých legujících prvků ke kalitelnosti oceli. Výrobce jej musí uvádět jako povinný údaj v dokumentu kontroly (dříve v atestu nebo hutním osvědčení). Čím se daná ocel snadněji zakalí v TOO svarového spoje, tak se obtížněji svařuje. C_E je tedy ukazatelem svařitelnosti oceli z pohledu chemického složení. Dominantní úlohu uhlíkového ekvivalentu má obsah uhlíku dané oceli. V některých vztazích pro výpočet C_E je zahrnuta i tloušťka svařovaného materiálu. Čím je tedy hodnota C_E materiálu větší, tím hůře se materiál bude svařovat.

V našem případě byl použit pro výpočet uhlíkového ekvivalentu vzorec daný Mezinárodním svářečským institutem (IIW) platný pro ocel s minimálním obsahem uhlíku 0,25%. Všechny uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech.[1]

$$C_E = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} [\%] \quad (1)$$

2. Technologie výroby děleného kola

Konečné montáži děleného kola SCHEUERLE předchází výroba ráfku, disku a příruby. Následně se vyrobené díly k sobě svařují. Na obrázku č. 3 jsou plechy (polotovary) na výrobu disků.



Obr. 3 - Polotovary na výrobu ráfků

2.1 Výroba disku

Materiál na výrobu disku je z nelegované konstrukční oceli S355J2 a jeho vlastnosti jsou popsány v tabulce 1. Polotovary je dodáván ve formě plechů o tloušťce 13 mm.

Obecný technologický postup je popsán v následujících bodech.

1. Tryskání

V první fázi se polotovary otryskávají na automatické tryskací lince, viz obrázek č. 4. Tato operace se provádí z důvodu očištění materiálu od možné rzi a okují a kvůli sjednocení povrchu.



Obr. 4 - Automatická tryskací linka

2. Stříhání vnitřního a vnějšího průměru

Po otryskání polotovaru je plech pomocí válečkového dopravníku přemístěn do automatického stříhacího lisu, kde je nejprve vystřižnuto vnější průměr disku. Z jednoho plechu je zde vystřižnuto hned několik disků (záleží na právě dodané délce polotovaru). Po vystřižnutí jsou disky ukládány pracovníkem do palety.

Po naplnění je paleta převezena k druhému stříhacímu lisu. Zde pracovník bere jednotlivé disky a vkládá je do lisu, kde je vystřižnuto vnitřní průměr disku.



Obr. 5 - Výstřižky disků



Obr. 6 - Poloautomatický stříhací lis

3. Soustružení

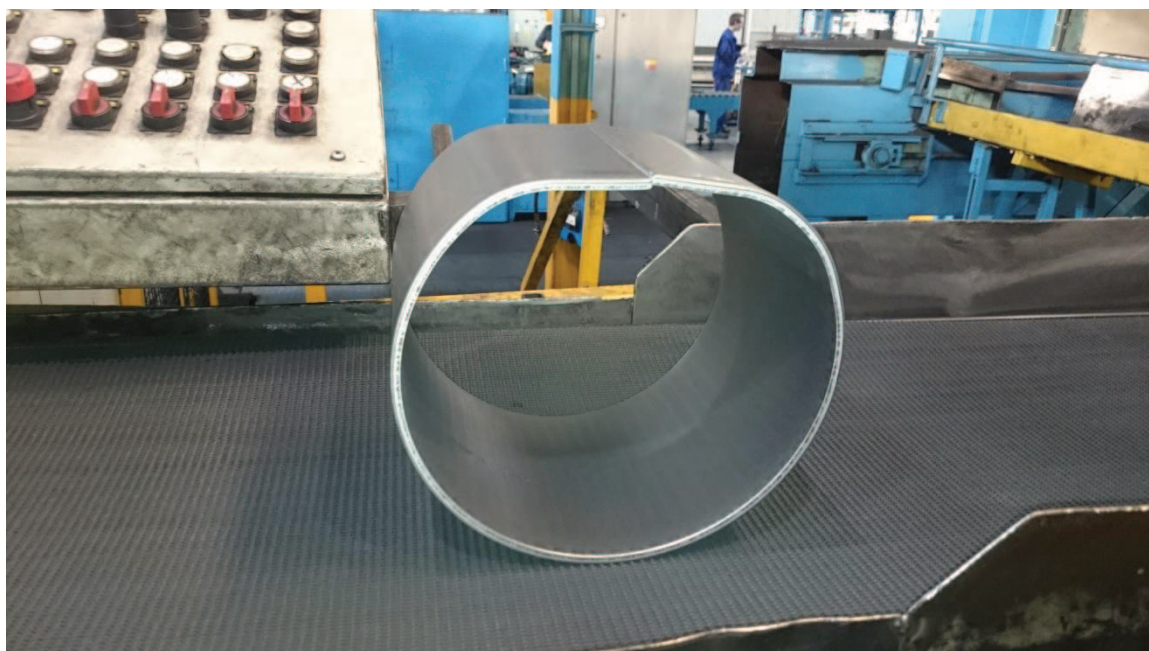
Disk je po vystříhnutí vnitřního průměru převezen k obráběcímu centru, kde je nejprve zarovnán jeho vnější průměr. Poté se zkosí hrana. Tuto úpravu je nutné provést kvůli snadnějšímu svařování. Po úpravě hrany je disk odebrán z CNC centra a je připraven k montáži.

2.2 Výroba vnitřní části ráfku

Materiál ráfku je vyroben z nelegované konstrukční oceli S275J2 a jeho vlastnosti jsou rovněž popsány v tabulce 1. Polotovar je také dodáván ve formě plechů o tloušťce 8,350 mm. Obecný technologický postup je popsán následujícími body.

1. Tryskání

Pomocí efektoru s přísavkami je polotovar uchopen a položen na válečkový dopravník, kde stejně jako při výrobě disku, je plech nejdříve otryskán na automatické tryskací lince. Dále je plech dopravníkem převezen na stáčecí stroj, kde je mu dán jeho základní kruhový tvar viz obrázek č. 7.



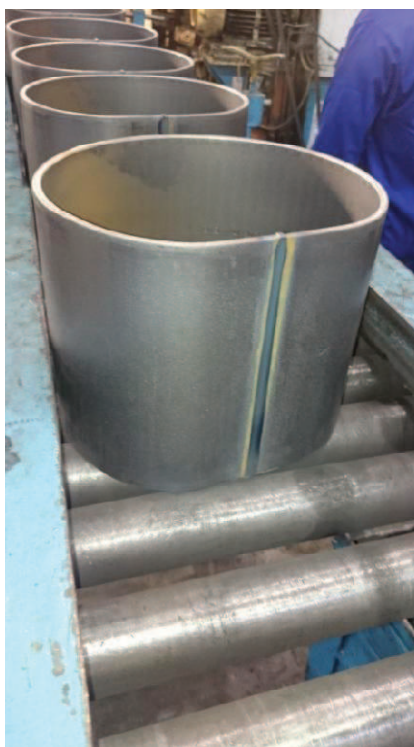
Obr. 7 - Polotovar po průjezdu stáčecím strojem

2. Odporové svařování a odstranění výronku svaru

V druhém kroku je prstenec pomocí pásového dopravníku dopraven na pracoviště odporového svařování. Pracovník z dopravníku odebírá prstence a vkládá je do čelistí svařovacího stroje. Po sklopení bezpečnostního krytu je prstenec automaticky svařen konci k sobě, takže vznikne uzavřený profil ráfku. Tento proces dokumentuje obrázek č. 8. Pracovník po svaření prstenec vyjme, odstraní výronek svaru a položí ho na válečkový dopravník, který jej pošle k další operaci, viz obrázek č. 9.



Obr. 8 - Odporové svařování



Obr. 9 – Svařený prstenec po svaření a odstranění výronku

3. Konusování tvaru

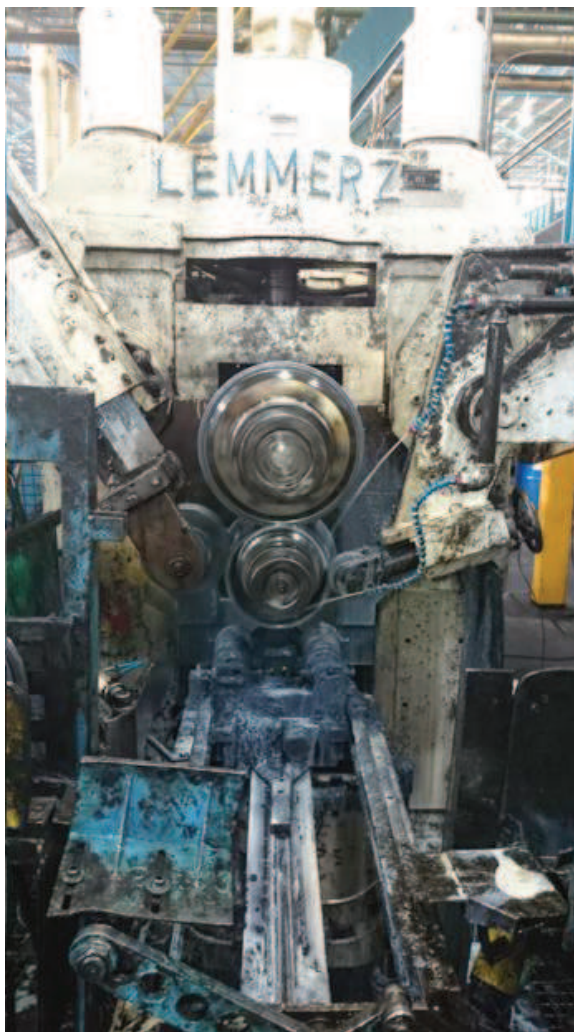
Na tomto pracovišti probíhá tváření za studena. Pracovník obsluhy vloží, prstenec do lisu, kde je ve dvou krocích, pomocí tvářecího lisu utvářen do potřebného tvaru. Na obrázku č. 10 je vidět rozdíl před a po lisování. V tuto chvíli už můžeme mluvit o ráfku. Zde je mu dodána přesnější kruhovitost a jedna strana pomocí ohybu roztáhnuta do trychtýřovitého tvaru. Ráfek je poté poslán dopravníkem k dalšímu pracovišti.



Obr. 10 - Konusování tvaru

4. Profilování tvaru

V tomto kroku je disk profilován pomocí válců. Na jeden válec je ráfek horizontálně nasazen. Po zapnutí stroje jsou kotouče roztočeny a další dva kotouče tlačí z vnější strany na ráfek, který je tímto způsobem profilován dle požadovaných parametrů. Tento proces je zdokumentován na obrázku č. 10.



Obr. 11 - Profilování ráfku

5. Kalibrování

V této fázi má ráfek svůj konečný tvar a je pouze kalibrován na poloautomatickém přechovacím lisu viz obrázek č. 12. Lis má 12 čelistí, které ráfek pevně sevřou. Ráfkou je takto dodána určitá přesnost.



Obr. 12 - Kalibrování ráfku na přechovacím lisu

6. Odmašťování

Zde už je ráfek definitivně dotvářen a projede pouze speciální myčkou, kde je odmaštěn a zbaven nečistot viz obrázek č. 13. Po projetí myčkou volně pokračuje na pracoviště kontroly.



Obr. 13 - Odmašťování

7. Kontrola

Na tomto pracovišti, viz obrázek č. 14, operátor zkontroluje ráfek vizuálně – je kontrolováno, zdali je ráfek bez vad. Ráfky ukládá do palety, která dále putuje na svařovnu. Firma Maxion Wheels disponuje školenými pracovníky dle normy ČSN EN ISO 9712 (level II), kteří provádějí proškolení ostatních pracovníků ve výrobě (svářeči a pracovníci kontroly), kteří kontrolují svary vizuálně.



Obr. 14 - Pracoviště kontroly

2.3 Montáž disku a vnitřní části ráfku (vnitřní ráfek)

Ještě před samotnou montáží projde disk CNC obráběcím centrem, kde je částečně obrobena. U disku se soustruží středový průměr, dosedací plochy a vnější hrana kvůli lepšímu svařování ráfku. Svařování podléhá normě ČSN EN ISO 3834-2. Tato část normy ČSN EN ISO 3834 stanovuje vyšší požadavky na jakost tavného svařování kovových materiálů v dílnách a/nebo na montážích. Svařovací dozor je zajištěn díky certifikovaným EWT a EWS odborníkům. [11]

1. Stehování

Ráfek i disk se pevně uchytí do speciálního přípravku, kde je přesně vymezená poloha obou částí. Pracovník k sobě komponenty přistěhuje v 6 bodech pomocí metody svařování 135, viz obrázek č. 15. Dále svařenec uvolní z přípravku a pošle ho k další operaci.



Obr. 15 - Stehování disku k ráfku

2. Svařování pod tavidlem - 121

Svařování probíhá na poloautomatické svařovací lince. Operátor upne svařenec do čelistí, spustí program a stroj začne svařovat. Čelisti se otáčí kolem osy ráfku, svařovací hubice kopíruje obvod disku a provádí koutový svar. Tuto operaci dokumentuje obrázek č. 16. Jakmile se ráfek otočí o 360°, svařování se zastaví a kolo je uvolněno z čelistí a putuje dopravníkem k další operaci.



Obr. 16 - Svařování pod tavidlem

3. Chladicí zóna

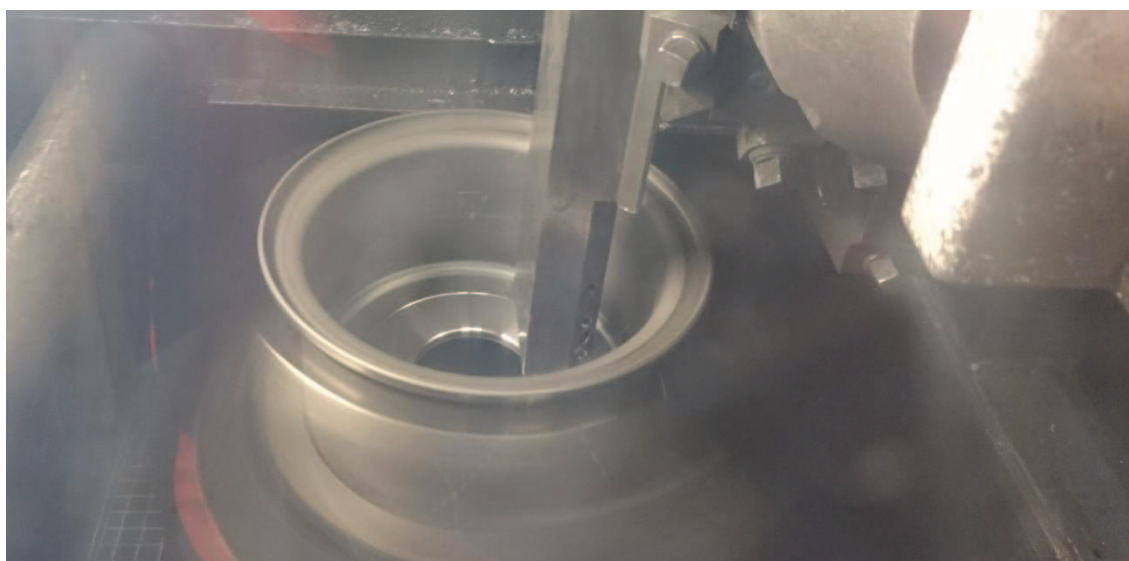
Ráfek po vyjmutí ze svařovací linky putuje po válečkovém dopravníku do chladicí zóny, kde je ochlazen na okolní teplotu. Chladicí zóna je zobrazena na obrázku č. 17.



Obr. 17 - Chladicí zóna

4. Soustružení

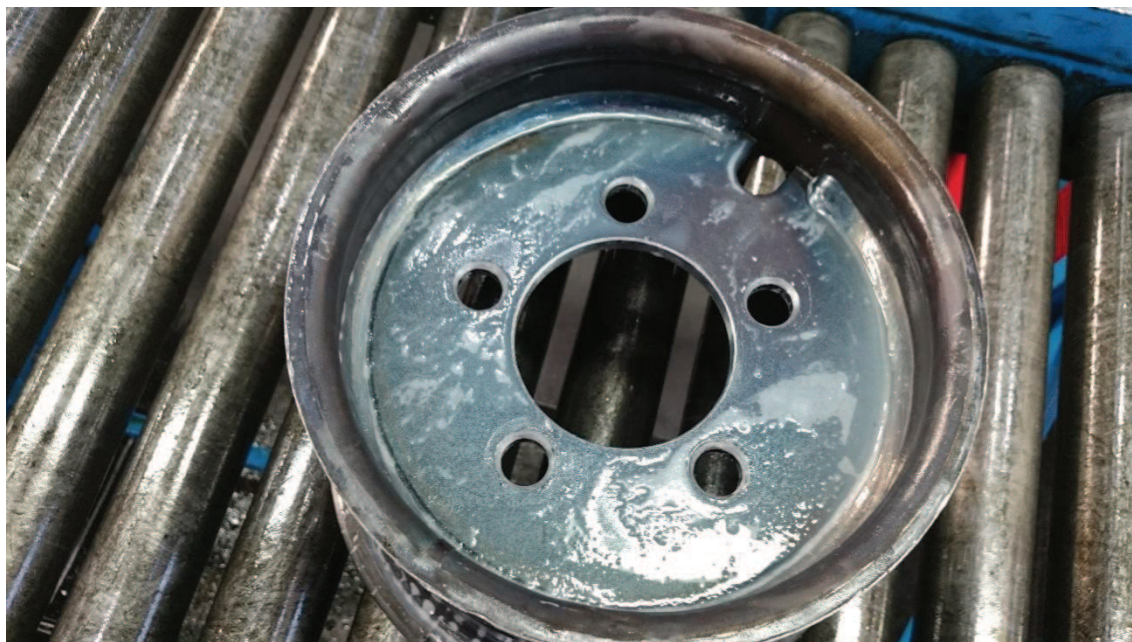
Na tomto pracovišti se soustruží dosedací plocha kola kolmá k ose otáčení. Soustružení probíhá na horizontálním soustruhu a je zachyceno na obrázku č. 18.



Obr. 18 - Horizontální soustružení

Vrtání upevňovacích otvorů

Na obrázku č. 19 je znázorněn svařenec po vrtání upevňovacích otvorů.



Obr. 19 - Kolo po zhotovení děr

2.4 Svařování příruby a vnitřního ráfku

Vyšší ráfek se uchytí do přípravku a přistěhuje se k přírubě. Poté se svaří kořenová vrstva pomocí technologie 135. Po této operaci putuje celek do svařovacího centra, kde se pomocí technologie 121 (automatem pod tavidlem) dovaří krycí vrstva.

2.5 Dokončovací práce na vyšší části ráfku

Po dokončení svařovacích prací putuje vyšší část ráfku do poloautomatického vrtacího centra, kde jsou do příruby vyvrtány otvory pro upnutí obou částí ráfků k sobě. Předposlední operací je pracoviště vizuální kontroly, které je zobrazeno na obrázku č. 20. Zde je operátorem ráfek vizuálně zkontrolován, navěšen na závěsný dopravník a přes speciální krytý most dopraven do vedlejší haly, kde se nachází lakovna.



Obr. 20 – Pracoviště vizuální kontroly

2.6 Výroba vnější části ráfku

Vnější část ráfku se vyrábí z ráfku vnitřního. Ten se upne do horizontálního soustruhu a je upíchnut ve 3 místech. Výsledkem je jeden hotový vnější ráfek, kraj ráfku (nepoužitelná část, která je sešrotována) a dva prstence. Tyto dva prstence dále putují do lisu, kde jsou vylisovány do požadovaného tvaru.



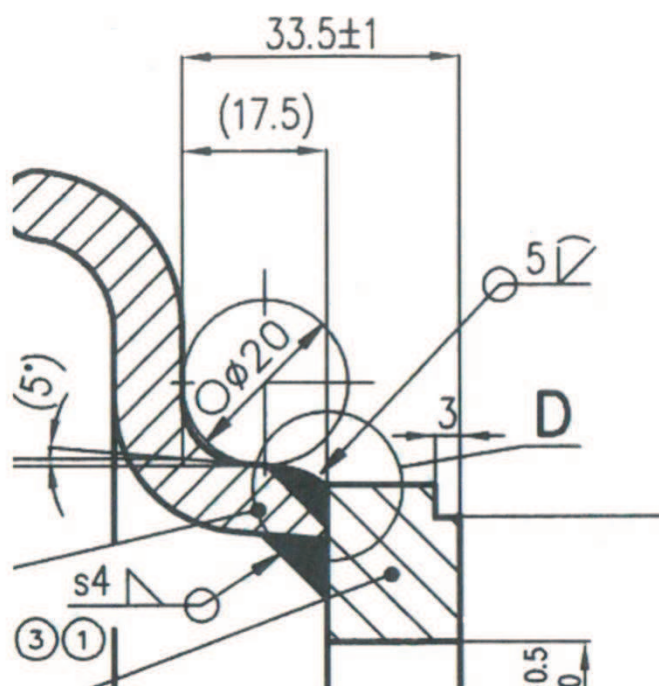
Obr. 21 – Upichování na horizontálním soustruhu

2.7 Svařování vnější části ráfku a příruby

Montáž vnější části ráfku a příruby začíná uchycením do přípravku (obr. 22) a přichycením obou částí k sobě pomocí stehování. Stehování se provádí pomocí technologie 135. Na obrázku č. 23 je zobrazen detail svarového spoje.



Obr. 22 – Vnější část ráfku upnutá v přípravku



Obr. 23 – Detail spojení vnějšího ráfku a příruby

Po přistehování ráfku a příruby operátor vloží celek do přípravku robotizovaného pracoviště. Robot ráfek uchopí, přesune se do svařovací polohy a začne ráfek otáčet podle jeho osy. Svařovací hořák zhotoví kořenový svar mezi vnější částí ráfku a přírubou.



Obr. 24 – Svařování kořenové vrstvy vnější částí ráfku

Po svaření nižší části ráfku je svařenec transportován na svařovnu, kde se svaří krycí vrstva pomocí technologie 121, viz obrázek 25. Poté ráfek putuje do vrtacího centra, kde jsou vyvrtány otvory pro upnutí k vyšší části, viz obrázek 26. Následně putuje přes stanoviště výstupní kontroly, kde je vložen do speciálního přípravku, pomocí kterého se kontrolují požadované rozměry, viz obrázek 27. Po zkontrolování se

ráfek navěsí na dopravník, po kterém putuje rovnou do lakovny, kde je pomocí kataforézy nanesen lak s vysokou antikorozní ochranou.



Obr. 25 – Svařování krycí vrstvy vnější části ráfku



Obr. 26 – Vrtání upevňovacích otvorů



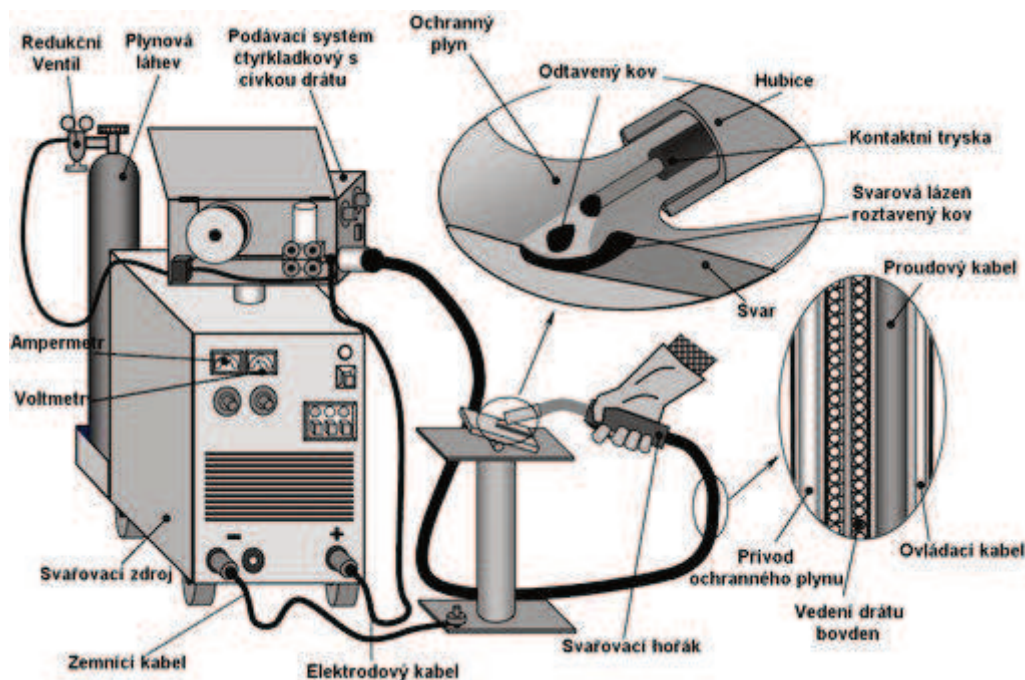
Obr. 27 – Kontrolní přípravek pro kontrolu rozteče děr

2.8 Svařovací technologie

Jak bylo již zmíněno v technologickém postupu, svařování při výrobě děleného kola SCHEUERLE probíhá pomocí dvou technologií. Stehování a kořenová vrstva se svařuje pomocí technologie 135 (MAG). Krycí vrstva pak pomocí technologie 121 (svařování automatem pod tavidlem).

Svařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou – metoda 135 (MAG)

Zkratka MAG (Metal Active Gas) označuje poloautomatické svařování kovů v ochranné atmosféře aktivního plynu tavící se elektrodou. Využívá teplo elektrického oblouku mezi kontinuálně dodávaným drátem (elektrodou) a svařencem. Aktivní plyn – $10 \pm 2\% \text{ CO}_2$ v Ar má za úkol kromě ochranné funkce (zamezení přístupu vzduchu k roztavenému kovu) za úkol ještě vstupovat do chemických reakcí ve svarové lázni. Aktivní plyn se tedy aktivně podílí na procesech, které probíhají v roztaveném svarovém kovu. Na obrázku č. 28 je uvedeno schéma svařování pro technologii 135. [4,5]



Obr. 28 – Schéma technologie svařování 135 [4]

Výhody metody 135: [4]

- Svařování ve všech svařovacích polohách.
- Vysoká svařovací rychlost = vyšší produktivita.
- Nižší nároky na výměnu strusky.
- Odstranění prostoje na výměnu klasických elektrod (MMAW).
- Eliminace zplodin (kouře) oproti metodě MMAW.
- Oblouk i svarová lázeň je jasně viditelná.
- Při svařování ve zkratovém přenosu – nižší vnesené teplo do svařence = menší deformace



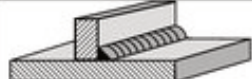
Nevýhody metody 135: [4]

- Svařovací zdroj je náročnější na obsluhu, pořizovací cena je vyšší.
- Vyšší nároky na údržbu.
- Při špatných podmínkách ventilace je riziko od fouknutí ochranného plynu.
- Relativně vysoké vyzářené teplo do prostoru.

Oblast použití:[4]

- nízko i vysoce legované oceli
- nerezové materiály
- hliník a hliníkové slitiny
- měď a slitiny

Na obrázku č. 29 je zobrazena základní aplikační třída použití z hlediska tloušťky materiálu.

Typ svaru		Tloušťka základního materiálu (mm)							
		1.5	3	6	12	24	...	100	200
	Základní svar bez přípravy svarových ploch								
	Základní svar s přípravou svarových ploch								
	Více vrstvý svar								
	Koutový svar								

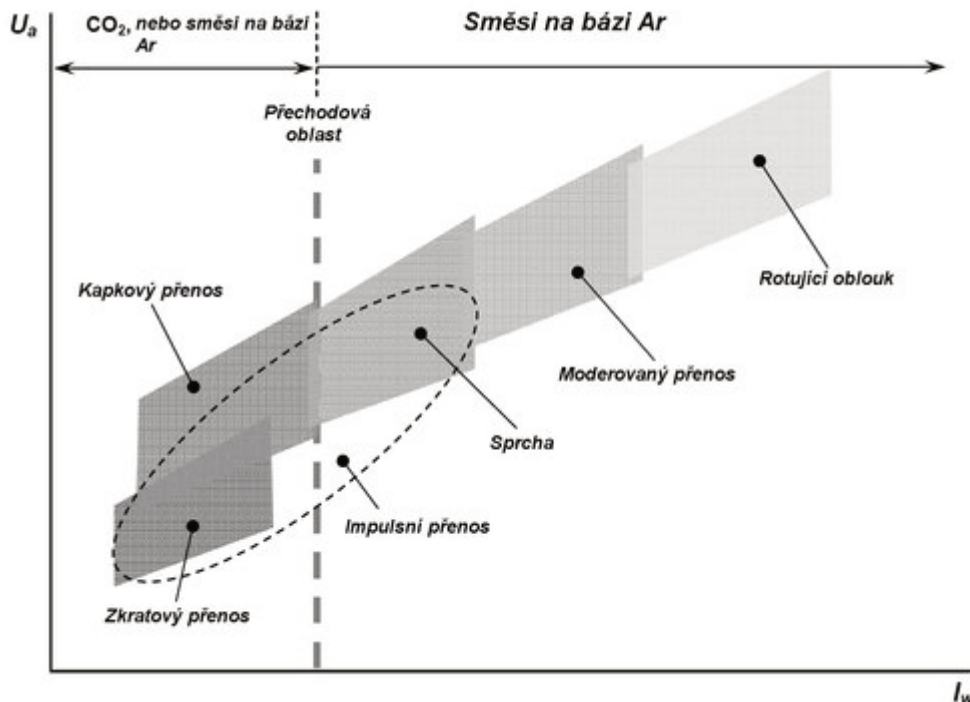
Obr. 29 – Základní aplikační třída použití z hlediska tloušťky materiálu [4]

Přenos svarového kovu do svarové lázně

Velkým přínosem technologie MAG je schopnost regulovat typ přenosu přídavného materiálu do svarové lázně pomocí vybraných parametrů (obrázek č. 30). Jedná se v podstatě o moderaci odtaveného materiálu na základě požadavku nastavených parametrů. [4]

Druhy přenosů:[4]

- zkratový přenos
- kapkový přenos
- impulsní přenos
- sprchový přenos
- moderovaný přenos
- rotační přenos



Obr. 30 – Graf přenosů svarového kovu do svarové lázně [4]

Veškeré elektrody použité při svařování děleného kola SCHEUERLE jsou certifikovány a mají své inspekční certifikáty dodané výrobcem. Pro stehování se používá elektroda SM-70 eco o průměru 1mm dodávaná výrobcem Hyundai Welding viz obrázek č. 31. Pro kořenovou vrstvu svaru se používá elektroda OK AUTROD 12.51 o průměru 1,2 mm dodávaná výrobcem ESAB viz obrázek č. 32.



CERTIFIED MATERIAL REPORT											
CMR No. : 1412293500008						Date of Issue : 2014-12-29					
Customer		ARCIMPEX									
Trade Name		SM-70 eco (G. Hgandni)				Size		1.0mm*15kg			
Lot No.		B32021				Purchaser's Order No.		-			
Applicable Specification		AMS A5.1B ER70S-6 * According to EN 10204-2004 : 3.1 EN ISO 14341-A G 42 4 M21 3Si1									
Welding Current	DCEP	Shielding Gas	ISO 14175 M21			Post Weld Heat Treatment (°C x hr.)			AS WELDED		
Mechanical Properties		Tensile Test			Impact Test (CVN - Joule)						
		YS(MPa)	TS(MPa)	EL(%)	Temp.(°C)	X1	X2	X3	Avg.		
		427	542	28.0	-40	98	99	100	99		
Spec.		≥ 400	≥ 480	≥ 22	-						
Chemical Composition (%)											
(WIRE)		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V
		0.10	0.93	1.42	0.019	0.012	0.19	0.07	0.08	0.01	0.01
		0.08 ~0.15	0.80 ~1.15	1.40 ~1.85	≤0.025	≤0.035	≤0.50	≤0.15	≤0.15	≤0.15	≤0.03
Others * Q'ty : 19,440kg											
We hereby certify that the material covered by this report has been inspected in accordance with and been found to meet the applicable requirements of specification and customer's requirements.											
Approved by <i>Sang Hee Lee</i> QA Manager Lee, S. H.											



HYUNDAI WELDING CO., LTD.

Head Office #507, Teheran-ro, Gangnam-gu, Seoul, Republic of Korea
 Pohang Plant #100, Daesong-ro, Nam-gu, Pohang, Republic of Korea

Obr. 31 – Inspekční certifikát svařovacího drátu použitého ke stehování – metoda 135



ZKUŠEBNÍ ZPRÁVA ČSN EN 10204 - 2.2

TEST REPORT

Číslo certifikátu/Cert No: 14/2017

Obj. č./Your order No: 7500051426

Zakáz. č./Our ref: 298654

Odběratel Customer	24790834 MAXION WHEELS CZECH, s. r. o. Vratimovská 707 719 00 OSTRAVA - Kunčice
-----------------------	---

Číslo výrobku Item no	Název výrobku Description	Množství Quantity	Jedn. Unit	LOT
1251129320A	OK AUTROD 12.51 1,2 mm	2000	Kg	PVR02050205

Chemické složení/Chemical composition (%)

	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni
Drát Wire	0,078	1,45	0,85	0,015	0,008	0,03	0,02
	Mo 0,007	V 0,001	Cu 0,016	Al 0,001	Fe zbytek	Zr+Ti 0,003	

Zkouška tahem/Tensile test

Svarový kov Weld metal	Temp °C	Rp 0.2 N/mm ²	Re H N/mm ²	Rm N/mm ²	A5 %
	+20		470	560	26

Zkouška rázem/Impact test

Svarový kov Weld metal	Temp °C	J	Temp °C	J
	+20	130	-30	70
	-20	90		
	-29	75		

Doplňující data/Additional data

Classifications Weld Metal: EN ISO 14341-A: G 35 2 C1 3Si1, EN ISO 14341-A: G 42 4 M21 3Si1
Classifications Wire Electrode: EN ISO 14341-A: G 3Si1, SFA/AWS A5 18: ER70S-6
CAN/CSA-ISO 14341 B-G 49A 3 C G6

Datum/Date: 25.1.2017

Jana Jirušková
Q.C. Department

ESAB VAMBERK, s.r.o.,
člen koncernu
Smetanovo nábřeží 334, 517 54 Vamberk
IČO: 25268023 DIČ: CZ 25268023 [4]

Adresa/Address	IČO	Telefon/Phone	Fax
ESAB VAMBERK, s.r.o., člen koncernu Smetanovo nábřeží 334 517 54 VAMBERK CZECH REPUBLIC	25268023	+420 494 501 476	+420 494 501 423

Zapsaná v obchodním rejstříku vedeném Krajským soudem v Hradci Králové, oddíl C, vložka 11454

Obr. 32 – Zkušební zpráva elektrody použité ke svaření kořenové vrstvy – metoda



Svařování pod tavidlem – metoda 121 (SAW)

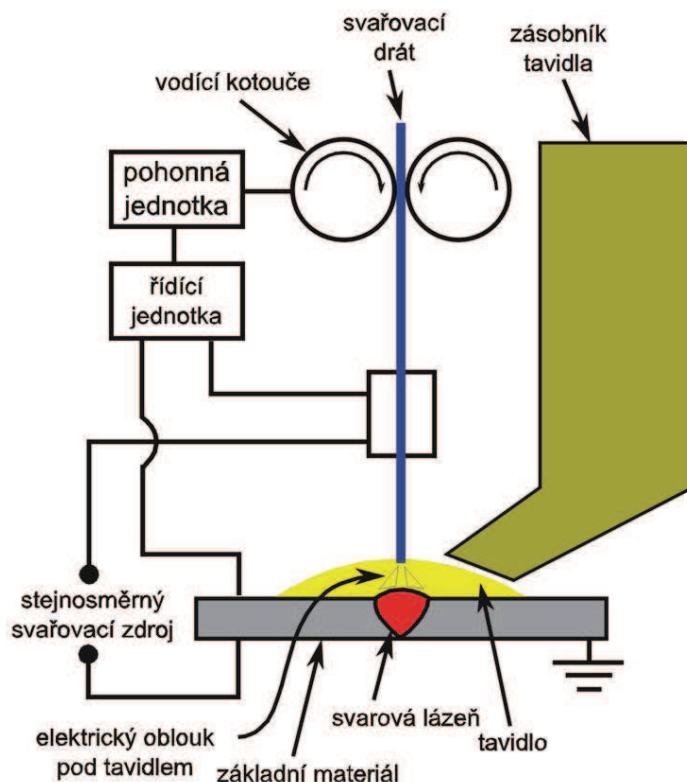
Automatické svařování pod tavidlem patří mezi nejjakostnější a nejproduktivnější metody svařování. Vyznačuje se minimálními emisemi škodlivin a nebezpečného UV záření. V zahraničí je tato metoda označována jako svařování SAW (Submerged Arc Welding). Tato metoda je v podstatě svařování elektrickým obloukem tavící se elektrodou. Elektrický oblouk hoří mezi základním svařovaným materiálem a odtavující se elektrodou. Elektroda je ve formě drátu navinutého na cívce a za pomoci poháněných kladek je posouvána do hořícího oblouku.

Ochranu před přístupem vzduchu zajišťuje tavidlo ve formě prášku. Svarová lázeň je během svařování neustále zasypávána vrstvou tavidla a pod touto vrstvou hoří i elektrický oblouk. Oblouk tedy není viditelný, je schován pod vrstvou tavidla. Z toho plyne minimální emise škodlivých zplodin a záření.

Část práškového tavidla se působením vysoké teploty taví, posléze tuhne a vytváří ochranný struskový kryt nad tavnou lázní a tuhnoucím svarovým kovem. Zároveň na sebe váže vyplavené nečistoty, může dolegovávat svarový kov a pozitivně působí i na formování svaru. Z roztaveného tavidla se také uvolňují plyny, které vytvářejí ochrannou atmosféru. Oblouk tedy nehoří přímo v tavidle ale v dutině naplněné plynem, který se z tavidla uvolňuje. Zbývá, neroztavená část tavidla se odsává pro další použití.

U této metody je vyloučené ruční vedení hořáku svářečem. Jelikož svářeč nevidí do místa svařování, není schopen korigovat vedení hořáku tak, aby celý proces byl stabilní. Proto se svařování pod tavidlem provádí zcela automatizovaně.[7]

Na obrázku č. 33 je zobrazeno základní schéma svařování metodou 121-automatem pod tavidlem.



Obr. 33 – Schéma svařování automatem pod tavidlem – metoda 121[6]

Výhody metody 121:[7]

- Vysoká produktivita a jakost provedených svarů.
- Svary jsou prakticky bez rozstříku.
- Svary jsou výborně formované s hlubokým závarem.
- Malé tepelné ovlivnění základního materiálu = menší deformace a vnitřní pnutí.
- Svary mají minimum vad (zápaly, trhliny, póry atd.)
- Svary se zpravidla nemusejí opracovávat.
- Minimum škodlivých emisí.

Nevýhody metody 121:[7]

- Vysoké pořizovací náklady.
- Vysoké nároky na příkon.
- Lze svařovat pouze v polohách PA nebo PB (výjimečně PC).
- Nutnost polohovat svařenec.
- Zvýšené nároky na obsluhu zařízení.



Elektrody i tavidlo používané při výrobě děleného kola SCHEUERLE podléhají přísným požadavkům, jsou certifikovány a jsou dodávány spolu s inspekčními certifikáty, popřípadě zkušebními zprávami. Elektroda nese označení OK AUTROD 12.30, má průměr 2,5 mm a je dodávána firmou ESAB viz obrázek č. 34. Tavidlo má označení BF 1.1 a dodává jej německá firma Bavaria Schweisstechnik. Inspekční certifikát tavidla je zobrazen na obrázku č. 35.

ESAB

ZKUŠEBNÍ ZPRÁVA ČSN EN 10204 - 2.2
TEST REPORT

Odběratel
Customer 24790834
MAXION WHEELS CZECH, s. r. o.
Vratimovská 707
719 00 OSTRAVA - Kunčice

Číslo certifikátu/Cert No: 17/2017
Obj.č./Your order No: 7500051426
Zakáz.č./Our ref.: 300351

Číslo výrobku Item no	Název výrobku Description	Množství Quantity	Jedn. Unit	LOT
1230252810	OK AUTROD 12.30 2,5 mm	2250	Kg	PV645033607

Chemické složení/Chemical composition (%)

	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni
Drát Wire	0,116	1,58	0,12	0,014	0,011	0,04	0,03
	Mo	V	Cu	Al	Zr+Ti		
	0,006	0,003	0,06	0,005	0,003		

Zkouška tahem/Tensile test

	Temp °C	Rp 0.2 N/mm ²	Re H N/mm ²	Rm N/mm ²	A5 %
Svarový kov Weld metal					

Zkouška rázem/Impact test

	Temp °C	J	Temp °C	J
Svarový kov Weld metal				

Doplňující data/Additional data

CLASSIFICATIONS Wire Electrode EN ISO 14171-A S3

Datum/Date: 25.1.2017
Jana Jirušková
Q.C. Department

ESAB VAMBERK, s.r.o.
člen koncernu
Smetanovo nábřeží 334, 517 54 Vamberk
IČO 25268023 DIČ CZ25268023

Adresa/Address	IČO	Telefon/Phone	Fax
ESAB VAMBERK, s.r.o., člen koncernu Smetanovo nábřeží 334 517 54 VAMBERK CZECH REPUBLIC	25268023	+420 494 501 476	+420 494 501 423

Zapsaná v obchodním rejstříku vedeném Krajským soudem v Hradci Králové, oddíl C, vložka 11464

Obr. 34 – Zkušební zpráva elektrody použité ke svaření krycí vrstvy – metoda 121

**ABNAHMEPRÜFZEUGNIS**

Inspection certificate
nach / acc. to EN 10204-3.1

Nr. 130117-48
No.



Maxion Wheels Czech S.R.O.
Vratimovská 707
707 00 Ostrava-Kunčice

Czech Republic

Schweißpulver: Welding flux	BF 1.1 (TP HLC: 7/14)	nach DIN/EN: acc. to	ISO 14174
Normbezeichnung: Classification	ISO 14174 S A AR 1 77 AC	Körnung: Grain size	2 - 20
Partie-Nr.: Lot no.	231		

Chemische Analyse Schweißgut (Gew.-%) nach / acc. to ISO 14174

Chemical analysis weld deposit (wt %); Chemical composition to classification EN 10204-2.2

Schweißdaten / welding data: 450 A, 26 V, 45 cm/min., Gleichstrom, - Pol.

Schweißdraht	S3-ISO14171 C	Si	Mn	P	S	Cu	
Wire/Electrode	lot 66689	0.12	0.11	1.50	0.005	0.009	0.06 core
Auftragsschweißung	BF 1.1 + S3	0.048	0.86	1.89	0.009	0.034	0.06

Chemical analysis flux (wt %)

Typical values acc. to

SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	CaF ₂	CaO	MgO
12	43.0	13.0	12.0	10.0	1.0	4.0

Siebanalyse

Screen properties

< 0.2	> 0.2	> 0.4	> 0.75	> 0.8	> 1.0	> 1.25	> 1.6	> 2.0 mm
0.2	1.6	24.8	48.0	—	—	25.1	—	0.3 %

Sonderprüfungen

Schlackenlöslichkeit:

Removability:

selbstlösend ohne Schlackenrückstände

Bemerkungen:
Notes

Unterschleißheim, 13.01.2017

Werkstoffverständiger / Works inspector



Obr. 35 – Inspekční certifikát použitého tavidla – metoda 121



2.9 Systém zařazování ocelí do skupin dle TNI CEN ISO/TR 15608

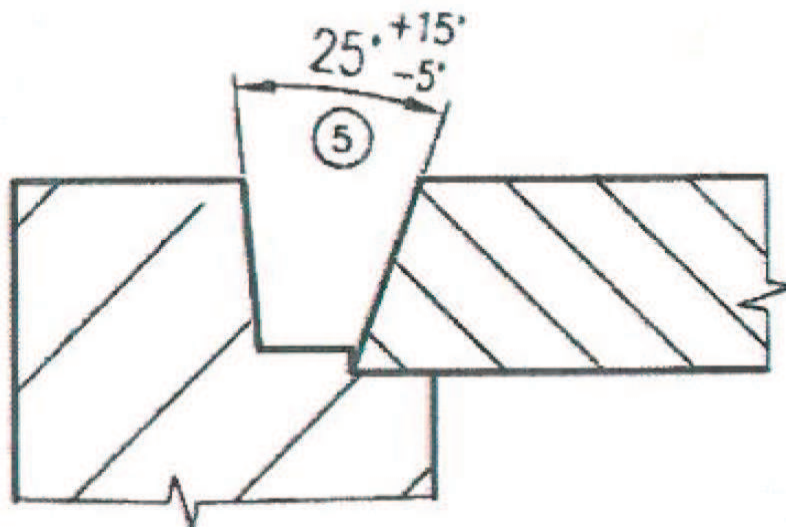
Oceli jsou zařazovány do skupin, jak je uvedeno v tabulce 9. V úvahu se berou pouze ty prvky, které jsou stanoveny v materiálových normách nebo specifikacích. Číselné hodnoty stanovené u skupin 1 vycházejí z rozboru tavby těchto materiálů. V tabulce 3 jsou označeny skupiny jednotlivých vzorků. [10]

Tabulka 3 - Systém zařazování oceli do skupin dle TNI CEN ISO/TR 15608 [10]

Skupina	Podskupina	Druh oceli
1		Oceli se stanovenou minimální mezí kluzu $R_{eH} \leq 460 \text{ N/mm}^2$ a obsahem prvků v % $C \leq 0,25$ $Si \leq 0,60$ $Mn \leq 1,8$ $Mo \leq 0,70$ $S \leq 0,045$ $P \leq 0,045$ $Cu \leq 0,40$ $Ni \leq 0,5$ $Cr \leq 0,3$ (0,4 pro odlitky) $Nb \leq 0,06$ $V \leq 0,1$ $Ti \leq 0,05$
	1.1	Oceli se stanovenou mezí kluzu $R_{eH} \leq 275 \text{ N/mm}^2$
	1.2	Oceli se stanovenou mezí kluzu $275 \text{ N/mm}^2 < R_{eH} \leq 360 \text{ N/mm}^2$
	1.3	Normalizované jemnozrnné oceli se stanovenou mezí kluzu $R_{eH} > 360 \text{ N/mm}^2$
	1.4	Oceli se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi, u kterých obsah prvků může překročit požadavky pro jednotlivé prvky, jak jsou uvedeny pro skupinu 1

3. Experimentální část

V této části diplomové práce se budu zabývat vybraným svarem, kde při výrobě vznikají vady. Výkres je součástí přílohy A a na obrázku č. 36 je zobrazen detail přípravy svarové plochy před svařováním.



Obr. 36 – Detail přípravy svarové plochy

Tento svarový spoj ráfku a příruby se v minulosti svařoval pouze jedním svarem a to technologií 121, tedy automaticem pod tavidlem. Tato metoda se příliš neověřila, jelikož velikost průvaru nebyla dostačující. Dle výkresové dokumentace má být průvar minimálně 6 mm.

Proto byl navržen nový technologický postup svařování, kdy kořenová vrstva svaru byla svařena technologií 135 (MAG) a druhá – krycí vrstva svařena technologií 121. U tohoto postupu je již průvar dostačující, avšak v místě svaru se mohou vyskytovat dutiny a vměstky, které mohou výrazně ovlivnit kvalitu svaru a tím i jeho pevnost.

Firmou Maxion Wheels byly dodány celkem 3 vzorky posuzovaného svarového spoje, které byly příčně vyříznuty z vyšší části děleného kola SCHEUERLE. Vzorek č. 1 je svařen pouze technologií 121 – tedy metodou, která nezaručuje dostatečné provaření spoje. Vzorek č. 2 je svařen pouze kořenovou vrstvou pomocí technologie 135. Vzorek č. 3 je již svařen pomocí kořenové a krycí vrstvy.



3.1 Svařovací parametry

V tabulce č. 4 jsou zobrazeny svařovací parametry jednotlivých vzorků.

Tabulka 4 – Svařovací parametry jednotlivých vzorků

Svařovací parametry	Vzorek č. 1	Vzorek č. 2	Vzorek č. 3	
			1. vrstva	2. vrstva
Proud [A]	500	318	318	500
Napětí [V]	29	25	25	29
Rychlost svařování [mm*s ⁻¹]	9,17	11,75	11,75	9,17
Svařovací poloha	PA	PA	PA	PA
Teplo vnesené do svaru [kJ*mm ⁻¹]	1,13	0,54	0,54	1,58

Výpočet tepla vneseného do svaru

Hodnota tepelného příkonu se podle ČSN EN ISO 1011-1 pro obloukové metody svařování vypočítá ze vztahu:

$$Q = k * \frac{U * I}{v} * 10^{-3} [kJ * mm^{-1}] \quad (2)$$

Kde: Q množství tepla přivedené do sv. spoje na jednotku jeho délky [kJ*mm⁻¹]

k koeficient tepelné účinnosti metody svařování

U napětí při svařování [V]

I intenzita svařovacího proudu [A]

v rychlost svařování [mm*s⁻¹] [1]

Vzorek č. 1

k= 1; U=29V; I=500A; v= 9,17 mm*s⁻¹

$$Q = 1 * \frac{29 * 500}{9,17} * 10^{-3} = 1,58 [kJ * mm^{-1}]$$

**Vzorek č. 2**

$k=0,8$; $U=25\text{ V}$; $I=318\text{ A}$; $v=11,75\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$

$$Q = 0,8 * \frac{25 * 318}{11,75} * 10^{-3} = 0,54 [kJ * mm^{-1}]$$

Vzorek č. 3

1. Vrstva $k=0,8$; $U=25\text{ V}$; $I=318\text{ A}$; $v=11,75\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$

$$Q = 0,8 * \frac{25 * 318}{11,75} * 10^{-3} = 0,54 [kJ * mm^{-1}]$$

2. Vrstva $k=1$; $U=29\text{ V}$; $I=500\text{ A}$; $v=9,17\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$

$$Q = 1 * \frac{29 * 500}{9,17} * 10^{-3} = 1,58 [kJ * mm^{-1}]$$

3.2 Metodika řešení

U vzorků byla navrhována zkouška mikrotvrdosti, makro a mikro snímky pro porovnání struktury svaru a TOO.

- Vizuální kontrola jakosti – dle normy ČSN EN ISO 5817
- Makro a mikro struktura - dle normy ČSN EN ISO 17639
- Měření mikrotvrdosti HV 0,1 – dle normy ČSN EN ISO 4516

3.3 Vizuální kontrola dle ČSN EN ISO 5817

Tato mezinárodní norma určuje stupně kvality podle vad svarových spojů zhotovených tavným svařováním pro všechny druhy oceli, niklu, titanu a jejich slitin. Platí pro tloušťky materiálu $\geq 0,5\text{ mm}$. Zahrnuje plně provařené tupé svary a veškeré koutové svary. Zásady této mezinárodní normy lze také použít pro částečně provařené tupé svary.

Norma uvádí tři stupně kvality, označené B, C a D, aby bylo možné použití pro širokou řadu svařovaných výrobků. Stupeň kvality B odpovídá nejvyššímu požadavku na kvalitu zhotoveného svaru a je vyžadován i při výrobě děleného kola SCEHUERLE. [9]

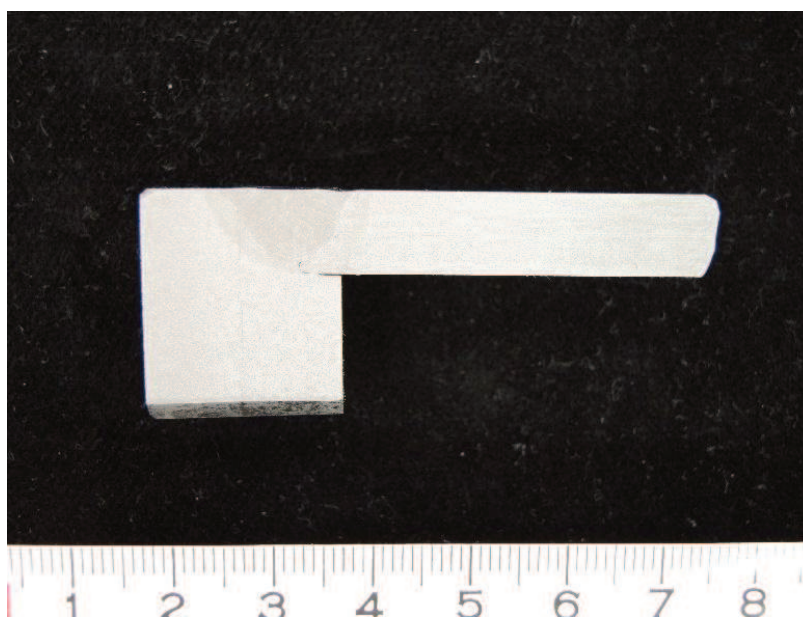
Tato vizuální kontrola je prováděna pracovníkem přímo ve výrobě viz kapitola 2.2 bod č. 7. Dále jsou pomocí této metody popsány vzorky, viz kapitola 3.4.

3.4 Makrostruktura vzorků

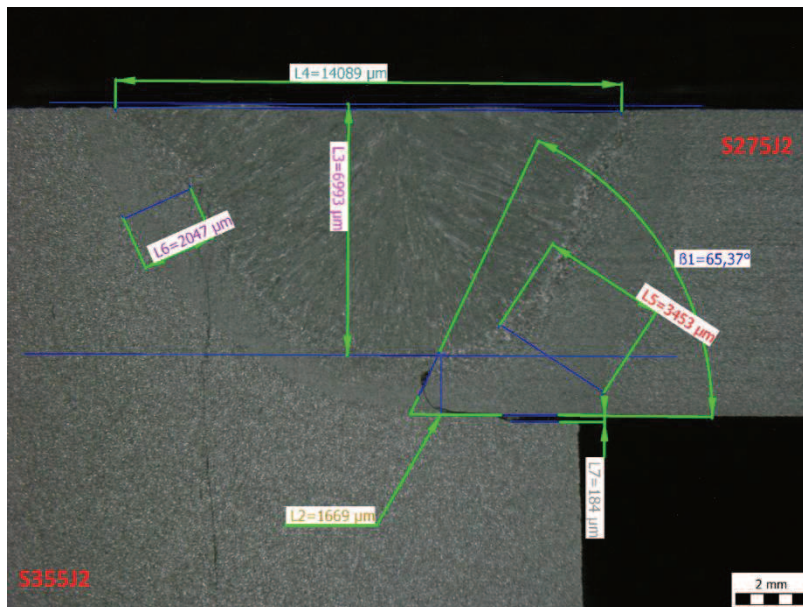
Všechny vzorky byly nejprve metalograficky vybroušeny. Poté proběhlo leptání v 10 % roztoku kyseliny dusičné (HNO_3). Toto leptání bylo prováděno potíráním vzorku vatou napuštěnou roztokem, následoval oplach ve vodě, polití lihem a vysušením na vzduchu. Následně byly zhotoveny snímky makrostruktury. Tyto snímky respektive vady, velikosti svaru a TOO byly proměřeny a jsou zobrazeny na obrázcích níže. Byla u nich také provedena vizuální kontrola dle normy ČSN EN ISO 5817.

3.4.1 Vzorek č. 1

Na obrázku č. 37 je zobrazen vzorek č. 1, který je svařen pomocí technologie 121.



Obr. 37 – Vzorek č. 1 – technologie 121

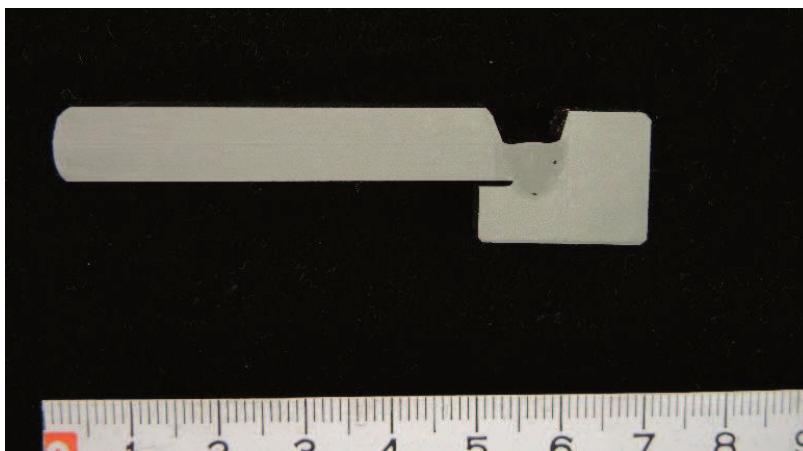


Obr. 38 – Svarový spoj vzorku č. 1

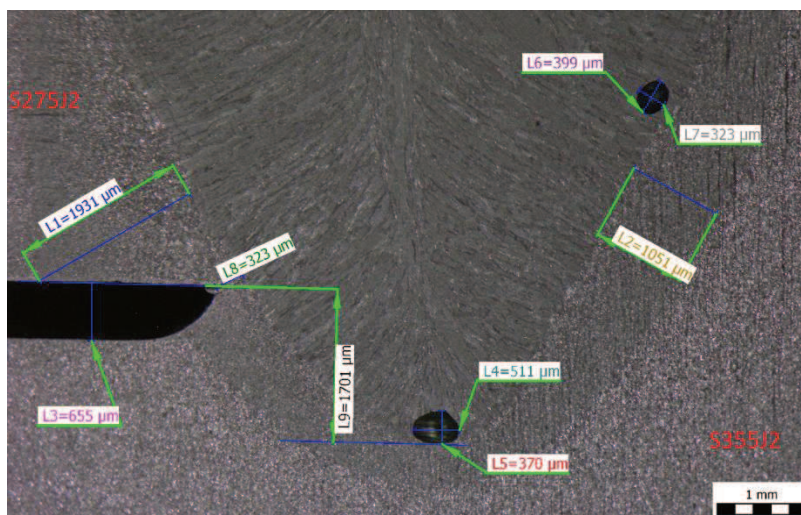
U vzorku č. 1, bylo zjištěno, že je neprovařený kořen, který způsobuje koncentraci napětí a může způsobit defekt svaru. Podle normy ČSN EN ISO 6520- 1 se jedná o vadu s referenčním číslem 4021. Pro stupeň kvality B je tato vada nepřipustná.

3.4.2 Vzorek č. 2

Na obrázku č. 39 je zobrazen vzorek č. 2, který je svařen pouze kořenovou vrstvou pomocí technologie 135.



Obr. 39 – Vzorek č. 2 – technologie 135

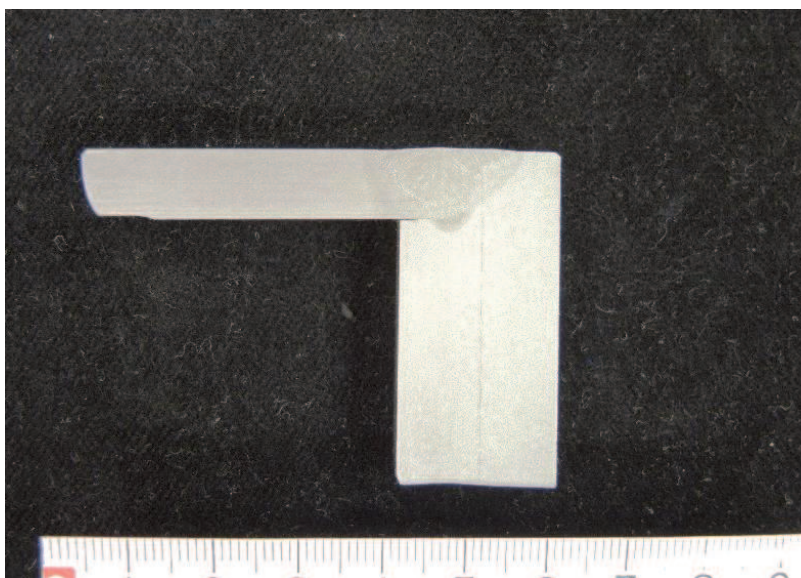


Obr. 40 – Svarový spoj vzorku č. 2 – technologie 135

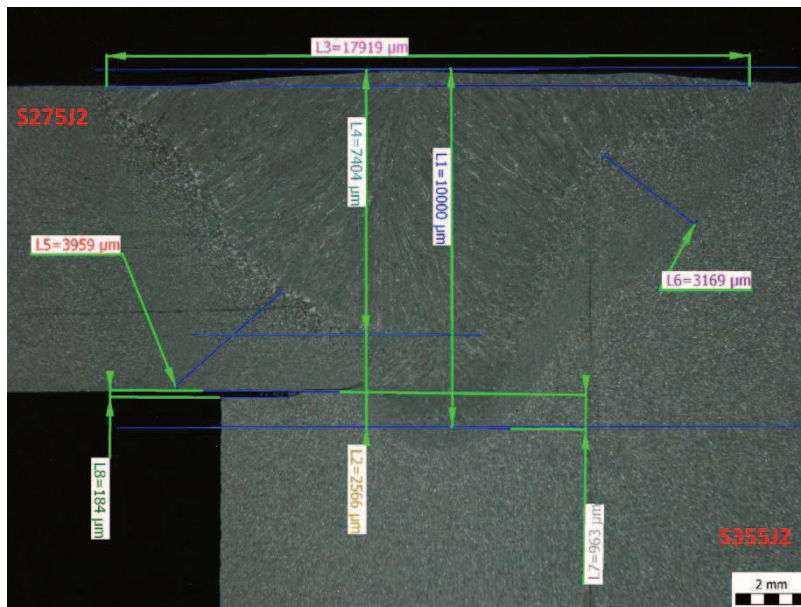
U vzorku č. 2 byly zjištěny póry. Velikost těchto pórů byla změřena a je zobrazena na obrázku č. 40. Podle normy ČSN EN ISO 6520-1 se jedná o vadu s referenčním číslem 2011 (pór). Podle normy ČSN EN ISO 5817 se i přes výskyt pórů jedná o stupeň kvality B, jelikož plocha pórů nepřesahuje 1% plochy svaru v příčném řezu a největší naměřená hodnota póru nepřesahuje hodnotu větší než je $0,2 * s$ (výška svaru).

3.4.3 Vzorek č. 3

Na obrázku č. 41 je zobrazen vzorek č. 3, který je svařen pomocí technologie 135 a 121.



Obr. 41 – Vzorek č. 3 – technologie 135 a 121



Obr. 42 – Svarový spoj vzorku č. 3 – technologie 135 a 121

Obrázek č. 42 dokumentuje proměření velikosti svaru a TOO vzorku č. 3. Nebyly zde zjištěny žádné vady. Tento svarový spoj tedy splňuje stupeň kvality B.

3.4.4 Vyhodnocení vzorku č. 1 a č. 3

V tabulce číslo 4, jsou uvedeny hodnoty naměřených rozměrů svaru a TOO u vzorku č. 1 a 3. Vzorek č. 3 má ve všech měřených rozměrech vyšší hodnoty. Je to způsobeno tím, že do svaru byl vnesen vyšší tepelný příkon, jelikož se svařoval pomocí kořenové a krycí vrstvy.

Tabulka 5 – Srovnání naměřených hodnot ze snímků makrostruktury svaru

[mm]	Vzorek č. 1	Vzorek č. 3
Šířka svaru	14,089	17,919
Výška svaru	6,993	10
TOO ráfek	3,453	3,959
TOO příruba	2,047	3,169

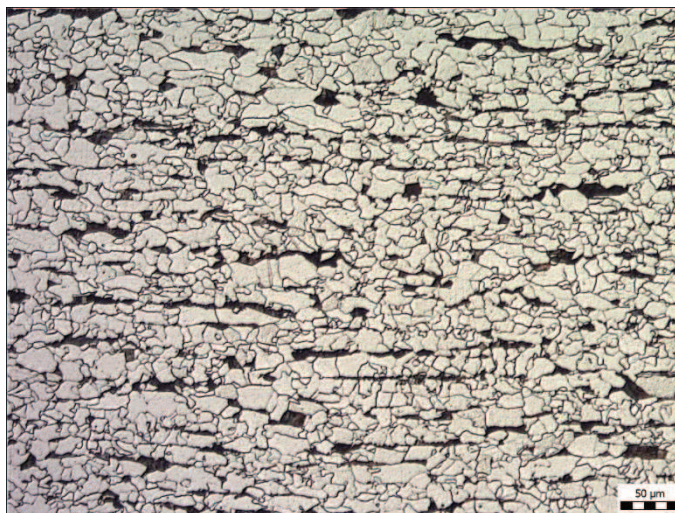
3.5 Mikrostruktura vzorků

Pro vytvoření snímků mikrostruktury bylo třeba vzorky č. 1 a 3 upravit na velikost, která by se vešla do speciální kapsle a opět naleptat. Jako leptadlo byl použit tzv. 2% NITAL (jedná se o 2% roztok kyseliny dusičné v lihu). Vzorky byly do roztoku ponořeny na 5-10 s. Následoval oplach vodou a lihem a následné schnutí na vzduchu. Poté byly zhotoveny snímky mikrostruktury v jednotlivých oblastech (svarový kov, hranice ztavení (příruba, ráfek), základní materiál (příruba, ráfek)). U každého vzorku 5 snímků. Snímky byly zhotoveny při zvětšení 100x, z horní části svaru cca 2 mm pod povrchem.

3.5.1 Vzorek č. 1

Mikrostruktura základního materiálu ráfku (S275J2)

Mikrostruktura základního materiálu ráfku zobrazená na obrázku č. 43 je řádkovitá, feriticko-perlitická. Perlit je lamelární.



Obr. 43 – Mikrostruktura základního materiálu ráfku

Mikrostruktura na hranici ztavení ráfku

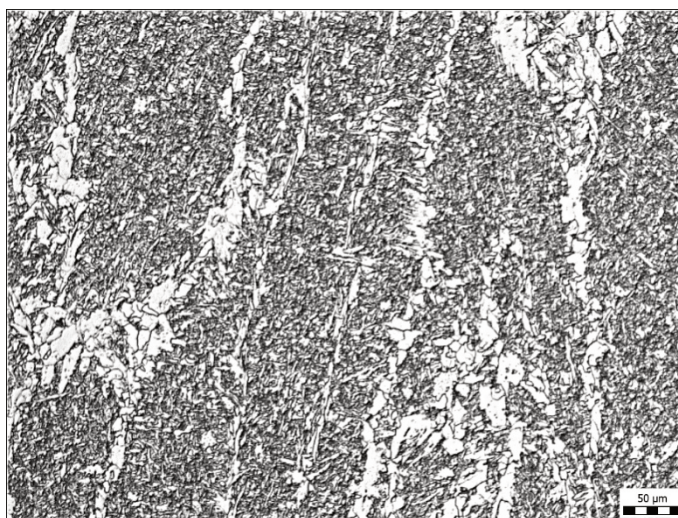
Mikrostruktura na hranici ztavení zobrazená na obrázku č. 44 je tvořená bainitem a feritem vytvářející náznak síťoví.



Obr. 44 – Mikrostruktura na hranici ztavení ráfku

Mikrostruktura svarového kovu

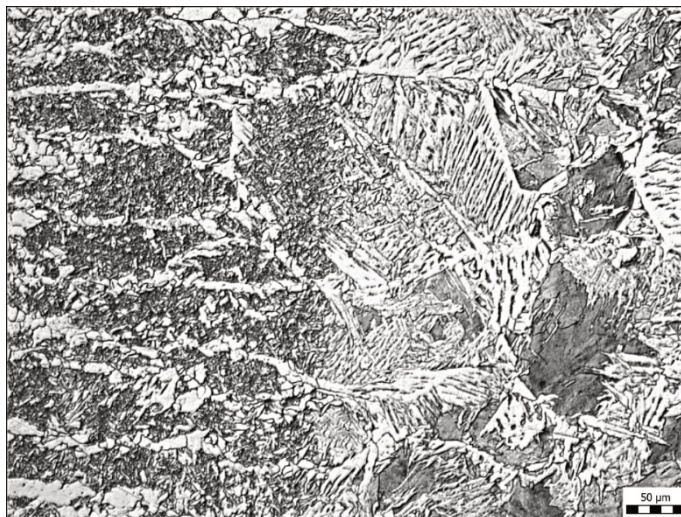
Mikrostruktura svarového kovu zobrazená na obrázku č. 45 je lící, bainiticko-feritická, ferit vytváří náznak síťoví.



Obr. 45 – Mikrostruktura svarového kovu

Mikrostruktura na hranici ztavení příruby

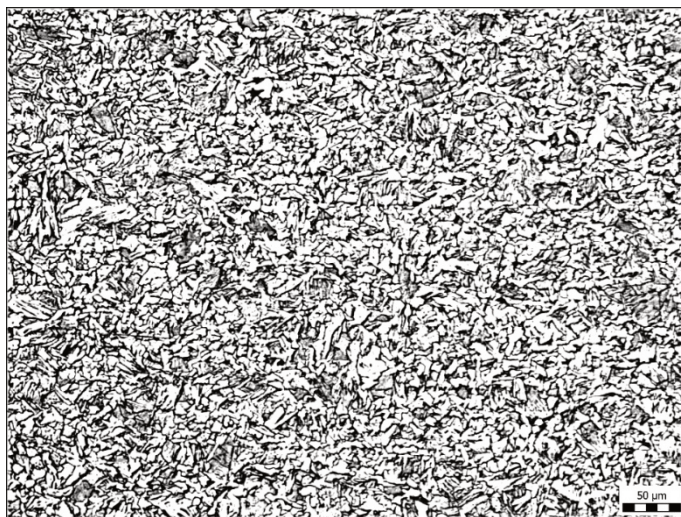
Mikrostruktura na hranici ztavení příruby zobrazená na obrázku č. 46 je bainitická s náznakem feritického síťoví, ojediněle se vyskytuje perlit.



Obr. 46 – Hranice ztavení příruby

Mikrostruktura základního materiálu příruby (S355J2)

Mikrostruktura základního materiálu příruby zobrazená na obrázku č. 47 je feriticko-bainiticko-perlitická a ocel jeví známky popouštění.

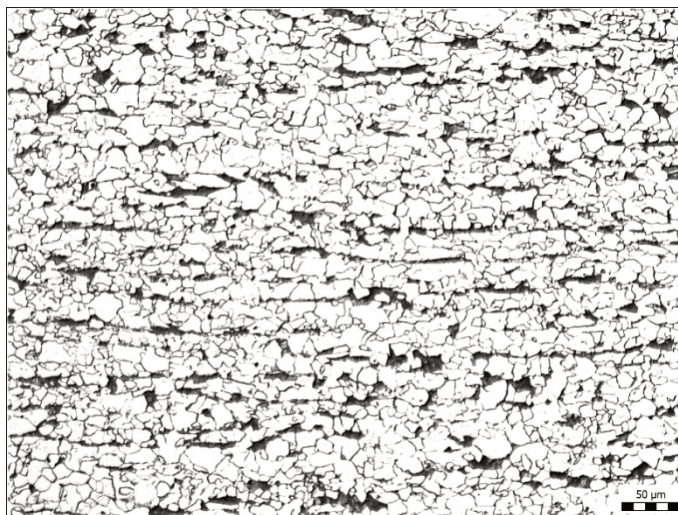


Obr. 47 – Základní materiál příruby

3.5.2 Vzorek č. 3

Mikrostruktura základního materiálu ráfku (S275J2)

Mikrostruktura základního materiálu ráfku zobrazená na obrázku č. 48 je řádkovitá, feriticko-perlitická. Perlit je lamelární.



Obr. 48 – Mikrostruktura základního materiálu ráfku

Mikrostruktura na hranici ztavení ráfku

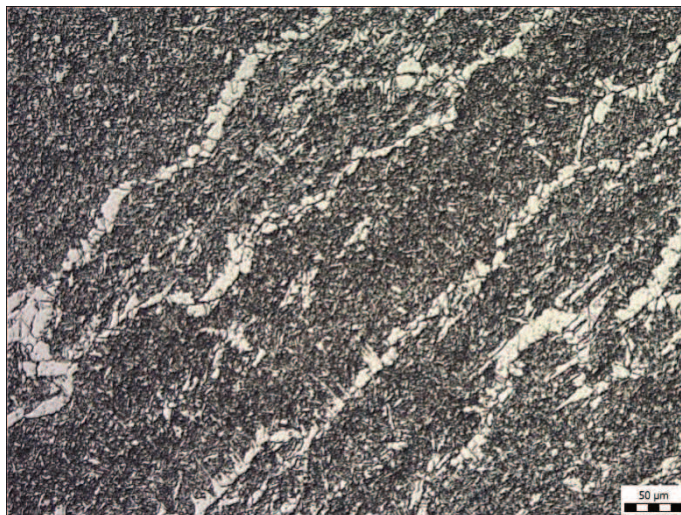
Mikrostruktura na hranici ztavení ráfku zobrazená na obrázku č. 49 je hrubozrnná, bainitická, s feritickým síťovím.



Obr. 49 – Mikrostruktura hranice ztavení ráfku

Mikrostruktura svarového kovu

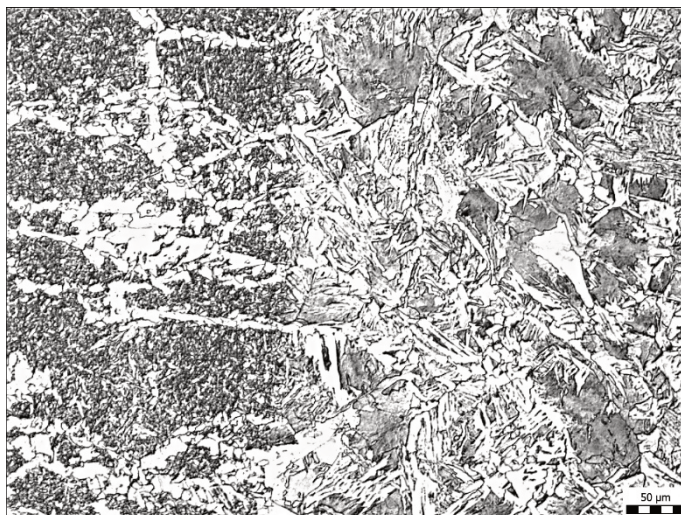
Mikrostruktura svarového kovu zobrazena na obrázku č. 50 je licí, bainitická s feritickým síťovým kolem primárních zrn (acirkulární ferit).



Obr. 50 – Mikrostruktura svarového kovu

Mikrostruktura na hranici ztavení příruby

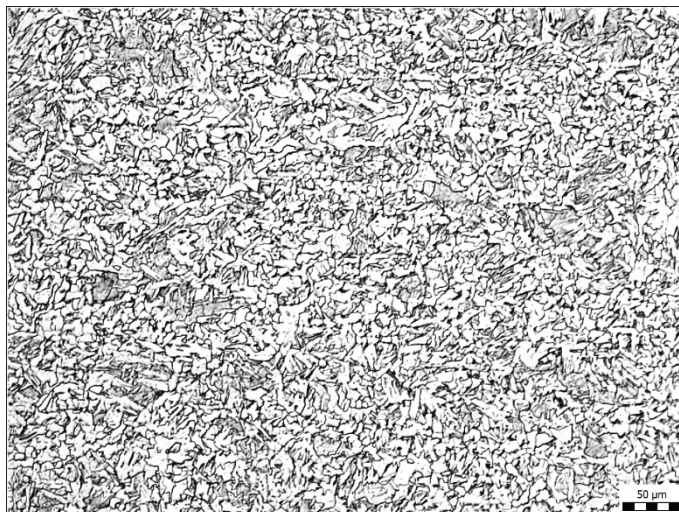
Mikrostruktura na hranici ztavení příruby zobrazená na obrázku č. 51 je bainiticko-feriticko-perlitická.



Obr. 51 – Hranice ztavení příruby

Mikrostruktura základního materiálu příruby (S355J2)

Mikrostruktura základního materiálu příruby zobrazená na obrázku č. 52 je tvořená feritem, bloky bainitu a perlitem. Jeví známky popouštění.



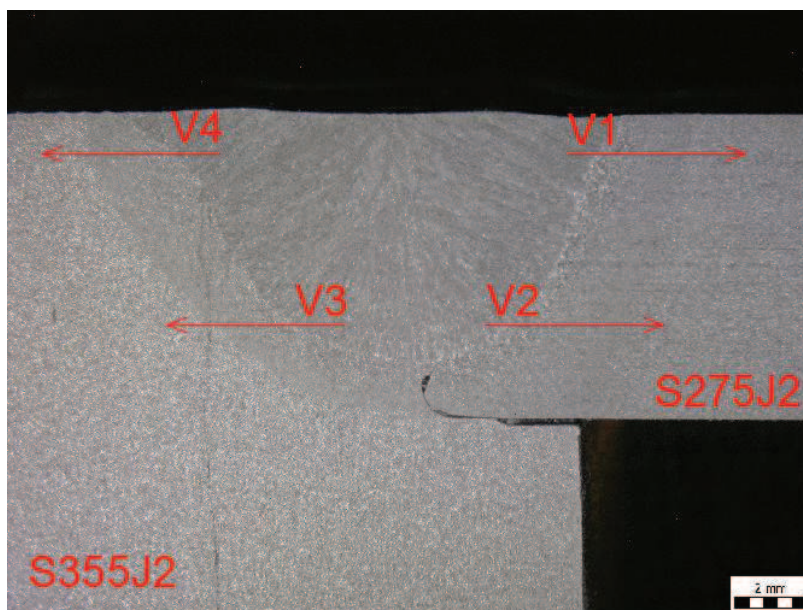
Obr. 52 – Základní materiál příruby



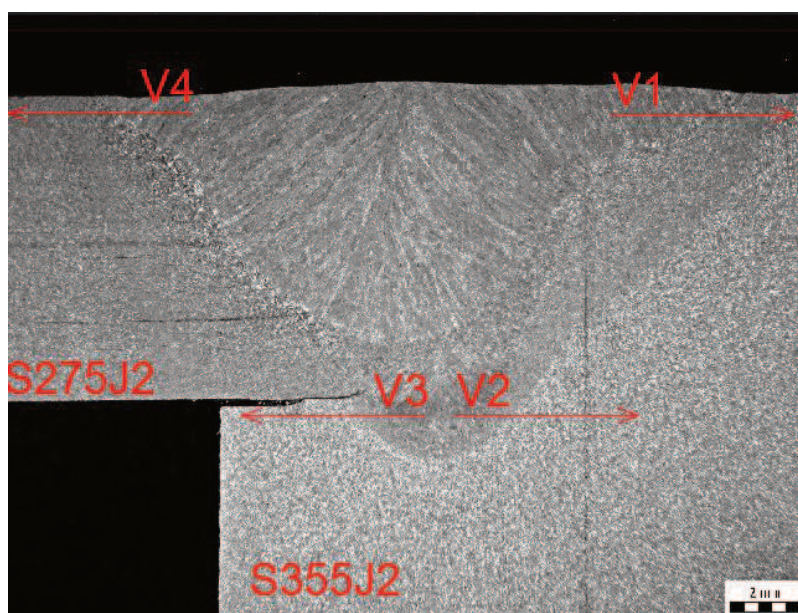
3.6 Mikrotvrdost vzorků

Tato část diplomové práce se zabývá zkoumáním mikrotvrdosti vzorků 1 a 3. Byla navržena metoda měření mikrotvrdosti podle Vickerse zatížením HV 0,1, která se prováděla na příčném řezu. Tento postup měření mikrotvrdosti dále specifikuje norma ČSN EN ISO 4516, která však odkazuje na normu ČSN EN ISO 6507-1. Rozdíl je jen ve velikosti zatížení. Podrobně popisuje zkušební princip a vlastní postup zkoušení, kdy diamantové vnikací těleso ve tvaru pravidelného čtyřbokého jehlanu se čtvercovou základnou s předepsaným vrcholovým úhlem mezi protilehlými stranami se zatlačuje do povrchu zkušebního tělesa a následně se měří délka úhlopříčky vtisku, který v povrchu zůstane po odlehčení zkušebního zatížení. Tvrdost podle Vickerse je úměrná podílu zkušebního zatížení k průmětu plochy vtisku, který se považuje za pravidelný čtyřboký jehlan o čtvercové základně se shodným vrcholovým úhlem jako vnikací těleso. Norma postupně popisuje požadavky na zkušební stroj, včetně všech jeho součástí nutných ke správnému provedení zkoušky, jakož i požadavky na zkušební těleso a jeho přípravu.[8]

Mikrotvrdost byla měřena pouze u vzorků 1 a 3, jelikož vzorek č. 2 je svařen pouze kořenovou vrstvou. U vzorků č. 1 a 3 byla tvrdost měřena celkem ve čtyřech vektorech V1 až V4. 2 vektory v horní části svaru (V4 a V1) a 2 vektory v kořenové části svaru (V3 a V2). Každý vektor má počáteční bod ve svarovém kovu a vede přes TOO až do základního materiálu. Z časových důvodů bohužel nemohla být tvrdost měřena napříč celou šířkou svaru. Tvrdost svarového kovu je však ve všech místech velmi podobná, a tak je tento postup dostačující. V každém vektoru byla tvrdost měřena celkem ve 20 bodech. Délka každého vektoru je 5 mm. Vzdálenost jednotlivých vpichů od sebe je 0,025 mm. Celkem tedy bylo zhotoveno 80 vpichů v jednom vzorku. Schéma měření je zobrazeno na obrázcích 53 a 54. Výsledky měření jsou pak zapsány v tabulkách č. 6 a 7, graficky jsou zobrazeny na obrázcích č. 55, 56, 57 a 58.



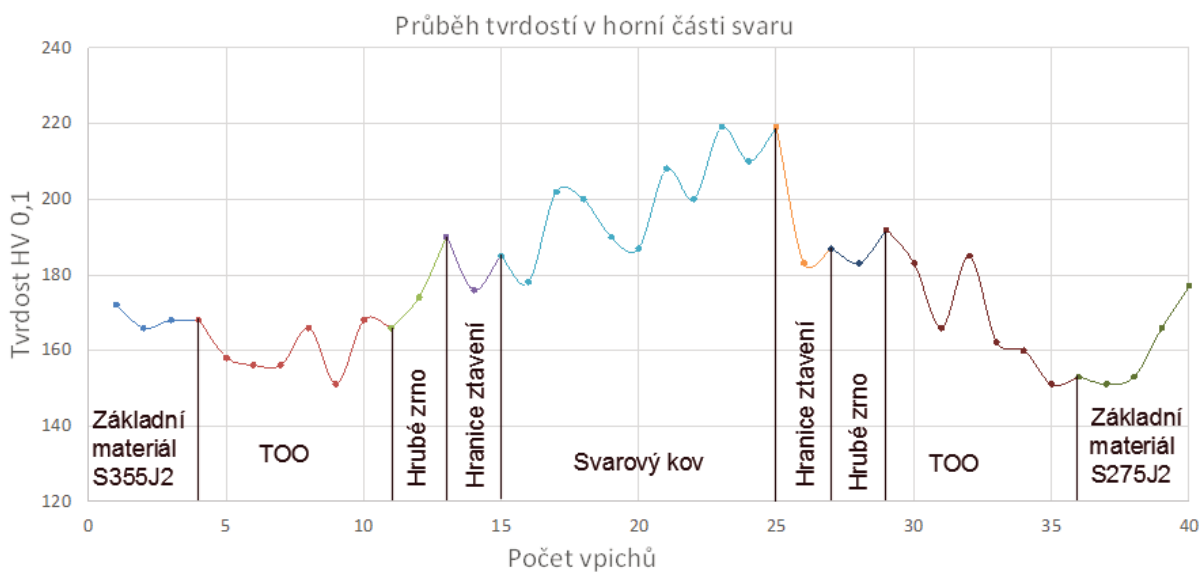
Obr. 53 – Schéma měření tvrdosti – vzorek č. 1

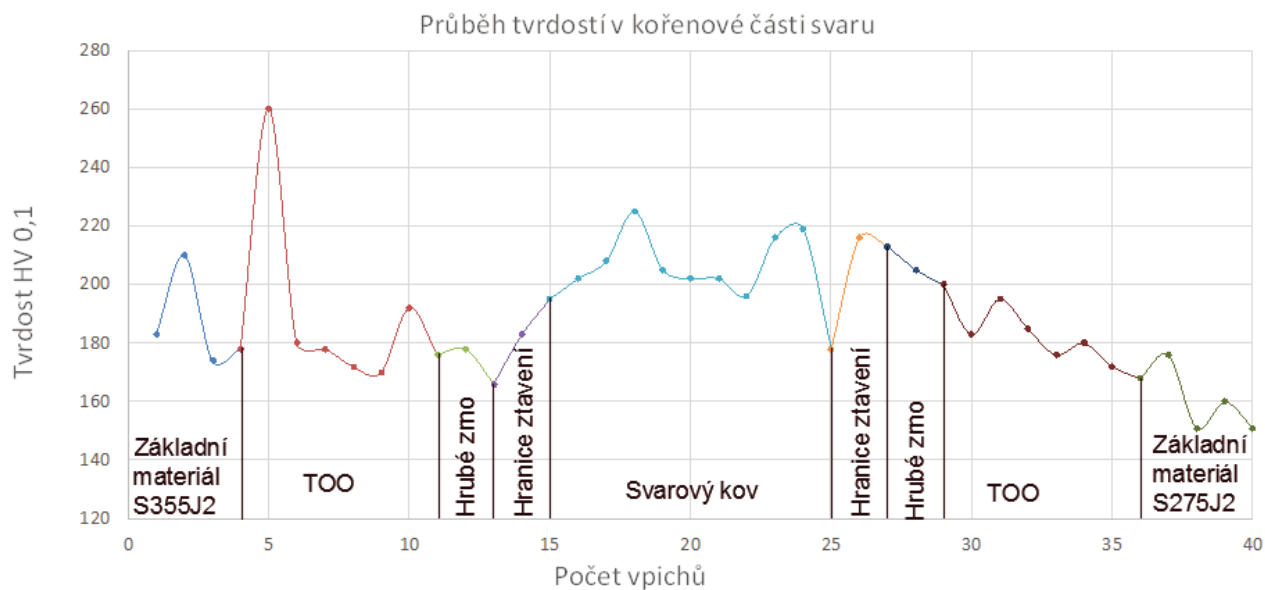


Obr. 54 – Schéma měření tvrdosti – vzorek č. 3

Tabulka 6 – Naměřené hodnoty tvrdosti při zatížení HV 0,1 u vzorku č. 1

vpich	V1	V2	V3	V4	Oblast vpichu
1	208	202	202	187	Svarový kov
2	200	196	205	190	
3	219	216	225	200	
4	210	219	208	202	
5	219	178	202	178	
6	183	216	195	185	Hranice ztavení
7	187	213	183	176	
8	183	205	166	190	Hrubé zrno
9	192	200	178	174	
10	183	183	176	166	TOO
11	166	195	192	168	
12	185	185	170	151	
13	162	176	172	166	
14	160	180	178	156	
15	151	172	180	156	
16	153	168	260	158	
17	151	176	178	168	Základní materiál
18	153	151	174	168	
19	166	160	210	166	
20	177	151	183	172	

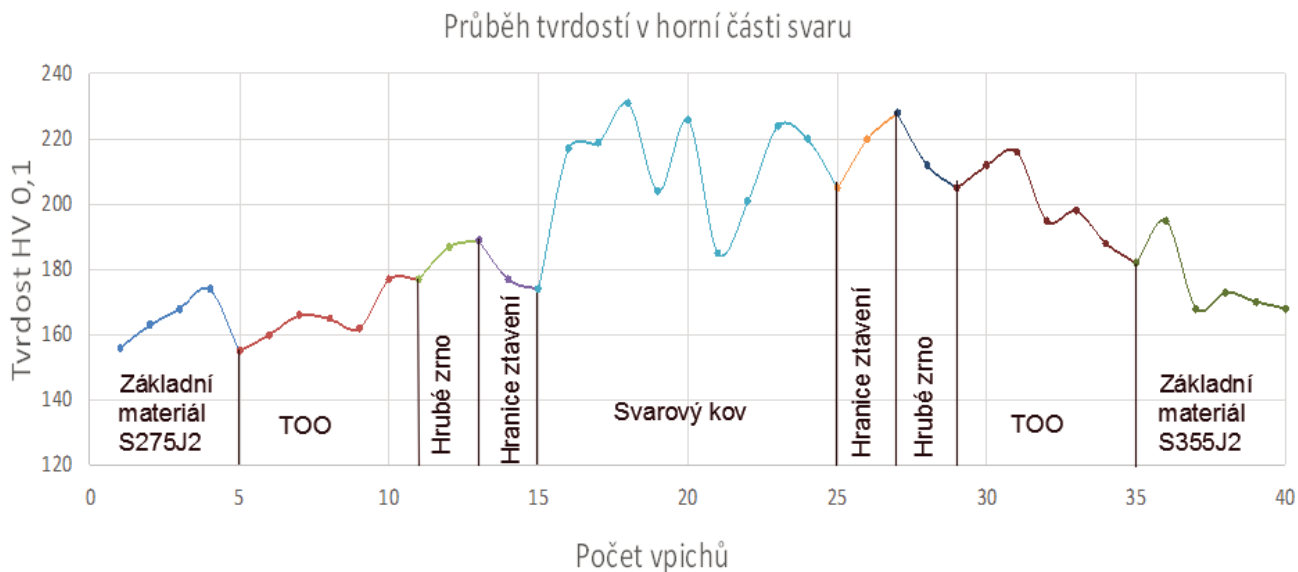

Obr. 55 – Grafické zobrazení průběhu tvrdostí v horní části svaru u vzorku 1



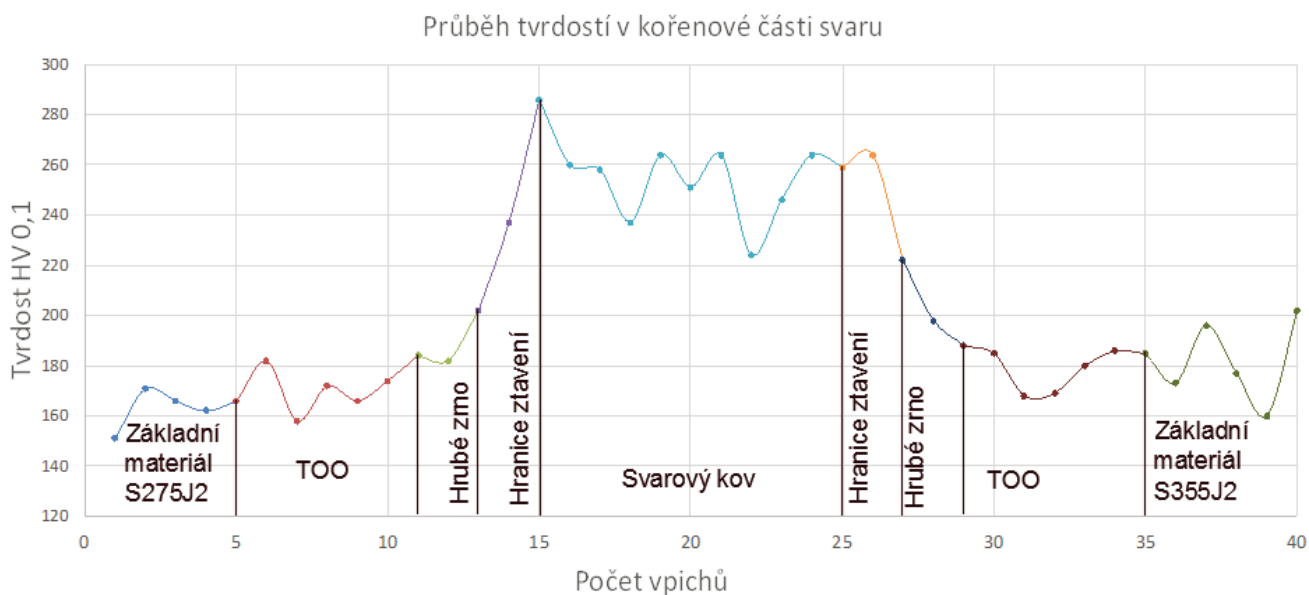
Obr. 56 – Grafické zobrazení průběhu tvrdostí v kořenové části svaru u vzorku 1

Tabulka 7 – Naměřené hodnoty tvrdosti při zatížení HV 0,1 u vzorku č. 3

vpich	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	Oblast vpichu
1	185	264	251	226	Svarový kov
2	201	224	264	204	
3	224	246	237	231	
4	220	264	258	219	
5	205	259	260	217	
6	220	264	286	174	Hranice ztavení
7	228	222	237	177	
8	212	198	202	189	Hrubé zrno
9	205	188	182	187	
10	212	185	184	177	
11	216	168	174	177	TOO
12	195	169	166	162	
13	198	180	172	165	
14	188	186	158	166	
15	182	185	182	160	
16	195	173	166	155	Základní materiál
17	168	196	162	174	
18	173	177	166	168	
19	170	160	171	163	
20	168	202	151	156	



Obr. 57 – Grafické zobrazení průběhu tvrdostí v horní části svaru u vzorku 3



Obr. 58 – Grafické zobrazení průběhu tvrdostí v kořenové části svaru u vzorku 3

U obou vzorků, je zřejmé, že nejvyšší hodnoty tvrdosti jsou v oblasti svarového kovu a hranice ztavení. Tvrdost postupně narůstá od základního materiálu. Jediná výjimka je u vzorku 1 viz obrázek 56, v jeho kořenové části, kde nejvyšší tvrdost byla naměřena v TOO – 260 HV 0,1, avšak jen v jednom bodě. Maximální hodnota tvrdosti pro oceli třídy 1 je 380 HV10. Tato podmínka tedy byla splněna.



4. Zhodnocení výsledků

Makro snímky posuzovaných vzorků byly přeměřeny, zejména pak šířka a výška svaru, velikost průvaru, šířka TOO. U vzorku č. 1, který byl svařen za pomoci technologie 121, bylo zjištěno, že je neprovařený kořen, který je pro stupeň jakosti B podle normy ČSN EN ISO 5817 nepřijatelný. U vzorku č. 2, který byl svařen pouze kořenovou vrstvou pomocí technologie 135, byly zkoumány póry, které se ve svaru objevily. Tyto póry jsou však pro požadovaný stupeň jakosti svaru přijatelné. Vzorek č. 3, který byl svařen pomocí kořenové a krycí vrstvy byl bez vad.

Mikrostruktura se zkoumala jen u vzorků č. 1 a 3. Snímky mikrostruktury byly zhotoveny v horní části svaru cca 2 mm pod povrchem ve zvětšení 100x. U každého vzorku je popsáno 5 snímků struktury. Jedná se o snímky základního materiálu příruby, hranice ztavení příruby, svarového kovu, hranice ztavení ráfku a základního materiálu ráfku. Vzorky č. 1 a č. 3. mají mikrostrukturu velmi podobnou, téměř stejnou. Struktura základního materiálu ráfku i příruby je feriticko- perlitická, občas se vyskytují bloky bainitu. Struktura na hranici ztavení příruby je bainiticko- feriticko- perlitická. Bainit se vyskytuje v blocích. Svarový kov je ve formě liciho bainitu s feritickým síťovým kolem primárních zrn. Jedná se o tzv. acirkulární ferit.

Posledním bodem experimentální části bylo zkoumání mikrotvrdosti vzorků č. 1 a 3. Tvrdost byla měřena Vickersovou metodou při zatížení HV 0,1. Tvrdost se měřila v horní i spodní části svaru, celkem v 80 bodech kolmo k ose svaru. Naměřené hodnoty byly vyneseny do grafů. Průběh tvrdostí byl ve všech osách měření velmi podobný. Tvrdost směrem od základního materiálu ke svaru narůstá. Nejvyšší hodnoty tvrdosti byly naměřeny v oblasti svarového kovu. Maximální hodnota tvrdosti pro oceli třídy 1 je 380 HV10. Tato tvrdost nebyla překročena a proto, je podmínka tvrdosti splněna.



5. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo popsat technologii výroby děleného kola, svařitelnost ocelí, navrhnout a provést experimentální práce na daných vzorcích, provést vyhodnocení a definovat závěry a doporučení.

V úvodu je popsána studie svařitelnosti příruby děleného kola a svařitelnost konstrukčních ocelí celkem. Příruba je vyrobena z konstrukční oceli S355J2. Lze konstatovat, že tato ocel je vhodná ke svařování a její svařitelnost je závislá především na uhlíkovém ekvivalentu C_e , který vyjadřuje příspěvek jednotlivých legujících prvků ke kalitelnosti oceli.

Druhým bodem diplomové práce je „technologie výroby děleného kola SCHEUERLE“. V tomto bodě je popsán obecný technologický postup výroby, doplněný o fotografie přímo z provozu. Velká pozornost je věnována svařovacím technologiím 135 (MAG) a 121 (SAW) a jejich popisu. Jsou zde zobrazeny atesty k elektrodám a tavidlu.

V experimentální části se již práce zabývá vybraným svarem, kde při výrobě vznikají vady. Jedná se o tupý svarový spoj vnitřní části ráfku a příruby. Firmou Maxion Wheels byly dodány 3 vzorky posuzovaného spoje. Vzorek č. 1 je svařen technologií 121 – neosvědčenou metodou. Vzorek č. 2 je svařen pouze kořenovou vrstvou pomocí technologie 135. Vzorek č. 3 je již svařen pomocí kořenové a krycí vrstvy tedy technologií 135 a 121. Předmětem zájmu je především vzorek č. 1 a vzorek č. 3 jelikož se jedná o kompletní svarové spojení. U vzorků byla navržena zkouška mikrotvrdosti, mikro a makro snímky pro porovnání struktury svaru a TOO. Dále pak vizuální kontrola dle normy ČSN EN ISO 5817.

Závěrem lze konstatovat, že technologický postup svařování příruby a ráfku za použití technologie 135 a 121 je zvolen správně – jsou splněny podmínky jakosti svarového spoje ve stupni B, tedy nejvyšším požadavku na kvalitu zhotoveného svaru dle normy ČSN EN ISO 5817. Technologický postup, kdy byla použita pouze technologie 121 je sice finančně výhodnější (vyšší takt linky), ale nezaručuje požadovaný stupeň jakosti svarového spoje. Jako doporučení pro další výrobu bych uvedl, že bylo vhodné nechat provést obdobnou studii i pro ostatní svarové spoje na



děleném kole SCHEUERLE a nechat si dle normy ČSN EN ISO 15613 kvalifikovat postup svařování mnou zkoumaného svarového spoje.



Poděkování

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Martinu Sondelovi Ph.D. za podporu, cenné rady a připomínky při vypracování této diplomové práce. Také děkuji konzultantovi panu Liboru Schebestíkovi a oponentovi Ing. Radomíru Polochovi, kteří mi předali své názory a zkušenosti. Dále pak rodině a přítelkyni, za poskytnutí zázemí a podporu při studiu. Speciální dík patří také panu Ing. Zdeňku Štorkánovi a paní Ing. Xenii Ševčíkové, Ph.D., kteří mi pomohli hlavně s experimentální částí diplomové práce.



Seznam použité literatury

- [1] KOUKAL, Jaroslav, Drahomír SCHWARZ a Jiří HAJDÍK. *Materiály a jejich svařitelnost*. Ostrava, 2009.
- [2] Přehled vlastností oceli S355J2 a S275J2. *Www.bolzano.cz* [online]. [cit. 2017-02-06]. Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/nelegovane-konstrukcni-oceli-podle-en-10025/prehled-vlastnosti-oceli-s355j2drive-s355j2g3>
- [3] ČSN EN 10025-2: Výrobky válcované za tepla z konstrukčních ocelí - Část 2: Technické dodací podmínky pro nelegované konstrukční oceli. 2005.
- [4] MIG/MAG (CO₂): MIG /MAG svařování. *Automig* [online]. [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <http://automig.cz/o-svarovani/metody/migmag-co2/>
- [5] MIG nebo MAG? Jaký je rozdíl? *www.svarbazar.cz* [online]. [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocclanku=2007101501>
- [6] Svařování pod tavidlem *www.wikipedia.org* [online]. [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD_pod_tavidlem
- [7] Svařování pod tavidlem. *www.svarbazar.cz* [online]. [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocclanku=2009010801>
- [8] ČSN EN 6507-1: Kovové materiály – Zkouška měření tvrdosti podle Vickerse - Část 1: Zkušební metoda. 2006.
- [9] ČSN EN ISO 5817: Svařování – Svarové spoje oceli, niklu, titanu a jejich slitin zhotovené tavným svařováním – určování stupňů kvality. 2014.
- [10] TNI CEN ISO/TR 15608. Svařování: Směrnice pro zařazování kovových materiálů do skupin. 2008. Praha: Český normalizační institut.
- [11] ČSN EN ISO 3834-2: Požadavky na jakost při tavném svařování kovových materiálů -Část 2: Vyšší požadavky na jakost. 2006.



Seznam použitých obrázků a tabulek

Obr. 1 – Dělené kolo SCHEUERLE (9.0-15 HD)

Obr. 2 – Závislost tvrdosti svarového spoje na obsah uhlíku v oceli a na procentu martenzitu ve struktuře TOO [1]

Obr. 3 - Polotovar na výrobu disků a ráfků

Obr. 4 - Automatická tryskací linka

Obr. 5 - Výstřižky disků

Obr. 6 - Poloautomatický stříhací lis

Obr. 7 - Polotovar po průjezdu stáčecím strojem

Obr. 8 - Odporové svařování

Obr. 9 - Ráfek po svaření a odstranění výronku

Obr. 10 - Konusování tvaru

Obr. 11 - Profilování ráfku

Obr. 12 - Kalibrování ráfku na přechovacím lisu

Obr. 13 - Odmašťování

Obr. 14 - Pracoviště kontroly

Obr. 15 - Stehování disku k ráfku

Obr. 16 - Svařování pod tavidlem

Obr. 17 - Chladicí zóna

Obr. 18 - Horizontální soustružení

Obr. 19 - Kolo po zhotovení děr

Obr. 20 – Pracoviště vizuální kontroly

Obr. 21 – Upichování na horizontálním soustruhu

Obr. 22 – Vnější část ráfku upnutá v přípravku

Obr. 23 – Detail spojení vnějšího ráfku a příruby

Obr. 24 – Svařování kořenové vrstvy vnější částí ráfku



Obr. 25 – Svařování krycí vrstvy vnější částí ráfku

Obr. 26 – Vrtání upevňovacích otvorů

Obr. 27 – Kontrolní přípravek pro kontrolu rozteče děr

Obr. 28 – Schéma technologie svařování 135 [4]

Obr. 29 – Základní aplikační třída použití z hlediska tloušťky materiálu [4]

Obr. 30 – Graf přenosů svarového kovu do svarové lázně [4]

Obr. 31 – Inspekční certifikát svařovacího drátu ke stehování – metoda 135

Obr. 32 – Zkušební zpráva elektrody použité ke svaření kořenové vrstvy – metoda 135

Obr. 33 – Schéma svařování automatem pod tavidlem – metoda 121[6]

Obr. 34 – Zkušební zpráva elektrody použité ke svaření krycí vrstvy – metoda 121

Obr. 35 – Inspekční certifikát použitého tavidla – metoda 121

Obr. 36 – Detail přípravy svarové plochy

Obr. 37 – Vzorek č. 1 – technologie 121

Obr. 38 – Svarový spoj vzorku č. 1

Obr. 39 – Vzorek č. 2 – technologie 135

Obr. 40 – Svarový spoj vzorku č. 2 – technologie 135

Obr. 41 – Vzorek č. 3 – technologie 135 a 121

Obr. 42 – Svarový spoj vzorku č. 3 – technologie 135 a 121

Obr. 43 – Mikrostruktura základního materiálu ráfku

Obr. 44 – Mikrostruktura na hranici ztavení ráfku

Obr. 45 – Mikrostruktura svarového kovu

Obr. 46 – Hranice ztavení příruby

Obr. 47 – Základní materiál příruby

Obr. 48 – Mikrostruktura základního materiálu ráfku

Obr. 49 – Mikrostruktura na hranici ztavení ráfku



Obr. 50 – Mikrostruktura svarového kovu

Obr. 51 – Mikrostruktura na hranici ztavení příruby

Obr. 52 – Základní materiál příruby

Obr. 53 – Schéma měření tvrdosti – vzorek č. 1

Obr. 54 – Schéma měření tvrdosti – vzorek č. 3

Obr. 55 – Grafické zobrazení průběhu tvrdosti v horní části svaru u vzorku 1

Obr. 56 – Grafické zobrazení průběhu tvrdosti v kořenové části svaru u vzorku 1

Obr. 57 – Grafické zobrazení průběhu tvrdosti v horní části svaru u vzorku 3

Obr. 58 – Grafické zobrazení průběhu tvrdosti v kořenové části svaru u vzorku 3

Tabulka 1 – Přehled vlastností použitých ocelí[2,3]

Tabulka 2 – Přehled mezních tloušťek a uhlíkových ekvivalentů uhlíkových ocelí podle IIW [1]

Tabulka 3 - Systém zařazování oceli do skupin dle TNI CEN ISO/TR 15608 [10]

Tabulka 4 – Svařovací parametry jednotlivých vzorků

Tabulka 5 – Srovnání naměřených hodnot ze snímků makrostruktury svaru

Tabulka 6 – Naměřené hodnoty tvrdosti při zatížení HV 0,1 u vzorku č. 1

Tabulka 7 – Naměřené hodnoty tvrdosti při zatížení HV 0,1 u vzorku č. 3



Seznam příloh

Výkres: Dělené kolo 9,0-15 HD; číslo výkresu 265061100045